

ETUDE PAYS

COLOMBIE

POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE CULTURES

ENERGETIQUES

Sarah Audouin, Alejandra Rueda, German Silva, John Alexander Marín Ospina, Nicolás Albarracín, Driss Ezzine de Blas et Laurent Gazull



Octobre 2014

Etude réalisée en collaboration avec NES Naturaleza S.A.S

Sommaire

1.	Résumé exécutif	3
2.	Contexte général et développement économique	8
2.1.	Localisation	8
2.2.	Caractéristiques biophysiques.....	8
2.3.	Economie	10
3.	Le secteur agricole.....	12
3.1.	La production agricole	12
3.2.	Statut et répartition des terres agricoles	13
3.3.	Le secteur forestier.....	15
4.	Le potentiel de développement des bioénergies en Colombie	16
4.1.	Une politique volontariste qui s'appuie sur un secteur agro-industriel performant	17
4.2.	Les systèmes de production et technologies actuelles	18
4.2.1.	La filière bioéthanol à partir de canne à sucre	18
4.2.2.	La filière du biodiesel à partir d'huile de palme	21
4.2.3.	La co-génération.....	23
4.3.	Les systèmes de production potentiels de biocarburants	24
4.3.1.	Le manioc.....	24
4.3.2.	Le sorgho sucrier	25
4.3.3.	La panela.....	26
5.	Méthode d'évaluation des potentiels	28
5.1.	Les scénarios de production de biocarburants envisagés.....	28
5.1.1.	Les scénarios retenus	29
5.1.2.	Les scénarios écartés	32
5.2.	Une démarche d'évaluation séquentielle des potentiels.....	34
5.2.1.	Les règles de durabilité.....	35
5.2.2.	Les hypothèses et données utilisées	36
6.	Evaluation des scénarios	39
6.1.	Scénario 1 : biodiesel.....	39
6.2.	Scénario 2 : bioéthanol.....	44
7.	Discussion des résultats	49
8.	Conclusions.....	51
	Bibliographie	52

1. Avertissement

Le présent rapport a été réalisé dans le cadre de la convention de collaboration CIRAD/TOTAL DS 2676.

Cette collaboration avait pour objectifs :

- De développer une méthode « bottom-up » permettant d'évaluer les terres disponibles pour la production durable de cultures énergétiques à l'échelle d'un pays ;
- D'éprouver cette méthodologie dans neuf pays tropicaux;
- De produire trois atlas mondiaux des plantes à fort potentiel bioénergétiques ;
- De développer une base de données mondiale d'indicateurs nationaux des potentiels de production de biocarburants

Le présent rapport synthétise une des neuf études réalisées à l'échelle nationale.

Les résultats de cette étude sont soumis aux règles de confidentialité définies dans la convention CIRAD/TOTAL DS 2676 : toute publication ou communication d'informations relatives à cette étude, par l'une ou l'autre des Parties (CIRAD ou TOTAL), devra recevoir l'accord écrit de l'autre Partie.

2. Résumé exécutif

Dans son histoire récente, la Colombie a vécu un changement de grande importance dans son modèle économique et politique à partir des années 1990, qui marquent son entrée dans l'économie libérale. L'abandon d'une politique très protectionniste a provoqué un changement dans la composition du produit intérieur brut, avec une forte baisse du secteur agricole et industriel et une hausse du secteur des services. Les effets conjugués de l'augmentation des importations, de la libéralisation des prix agricoles, de la dévaluation du peso, de la faible productivité du secteur agricole colombien et du conflit armé en zones rurales, ont provoqué la chute du secteur agricole colombien : le PIB agricole est passé entre 1970 et 2013, de 25% à 5,2% du PIB national. Le conflit armé a provoqué quant à lui le déplacement de plus de 300 000 familles rurales. Les systèmes de production agricoles se sont transformés et se sont spécialisés vers les exportations (Café, banane, sucre, huile de palme) au détriment des productions de consommation locale (Sorgho, Soja, Maïs, fruits, ...). Mais malgré ces changements majeurs, le secteur agricole absorbe toujours 27 % des emplois nationaux et 62,3 % des emplois ruraux.

Selon une étude de l'IGAC (2012), la superficie des terres à vocation agricole est estimée à 28 millions d'hectares, mais seulement 5 millions sont réellement occupés par des activités agricoles (soit 24%). Sur ces dernières 36 % sont dédiées aux cultures annuelles (riz, maïs, soja, coton) et 64 % aux cultures permanentes (palmier à huile, café) (Agronet 2013). A l'inverse, les terres à vocation pastorales sont estimées à 15 millions d'hectares, alors que cette activité occupe 35 millions d'hectares, ce qui témoigne du caractère extensif de l'élevage dans ce pays.

La production de biocarburants est fortement soutenue par l'Etat colombien qui a légiféré dès le début des années 2000 afin de favoriser l'émergence de ces nouvelles filières. En s'appuyant sur son secteur agro-industriel sucrier très performant l'éthanol est commercialisé à partir de 2005. La production de biodiesel est quant à elle commercialisée à partir de 2008. Le développement des biocarburants est encadré par le *Programme national de biocarburants*¹ dont l'objectif est de diversifier et d'atteindre l'autosuffisance énergétique du pays tout en améliorant l'environnement et la qualité de l'air, en générant des emplois ruraux et en développant l'agro-industrie du pays (Rueda 2012).

Pour les deux produits, l'expansion a été rapide : en 2013 la production d'éthanol s'élevait à 393 000 tonnes par an (387 millions de litres/an) à partir de 5 distilleries, toutes localisées dans la Vallée de la Cauca. La production annuelle de biodiesel s'élevait quant à elle à 505 000 tonnes, fournie par 6 huileries localisées dans différents départements et régions bioclimatiques du pays.

La totalité de la production de biocarburants colombiens est consommée à l'échelle nationale et représente 2 % de l'offre énergétique locale. Les biocarburants colombiens sont principalement utilisés dans le secteur des transports, en substitution des hydrocarbures.

En Colombie, le bioéthanol provient exclusivement de la canne à sucre. Cette culture est produite de façon industrielle depuis plus de 100 ans et son aire géographique est concentrée dans une région particulière : la Vallée de la Cauca. La production de canne est concentrée chez les grands producteurs et les plantations des agro-industries sucrières. En 2013, la surface plantée était de 225000 ha et cette dernière est à peu près stable depuis 5 ans. Le secteur sucrier est très fortement structuré et représente une force politique importante dans le pays, étant donné son importance économique et sociale.

¹ Programa nacional de biocombustibles

Le secteur de l'huile de palme est beaucoup plus dispersé que celui de la canne à sucre, géographiquement et par les acteurs qui y participent. Il est également plus récent. La superficie nationale des plantations de palmiers à huile s'élève actuellement à 480 000 ha et est en forte expansion avec un taux de croissance de 10 %. Les plantations se situent dans presque tout le pays et sont présentes dans 17 départements. Tout comme le secteur de la canne à sucre, celui du palmier à huile est très structuré. Ce dernier intègre cependant plus largement l'agriculture familiale et les petits producteurs grâce à l'existence d'un modèle inclusif de filière appelé « Alliances stratégiques et productives ». Dans la dernière décennie, 25% des nouvelles surfaces plantées en palmiers à huile l'ont été dans le cadre d'une alliance stratégique.

En dehors de ces 2 grandes cultures, d'autres filières ont été envisagées pour la production de biocarburants : manioc, sorgho sucrier et panela (canne traditionnelle).

- Le Manioc : trois tentatives de production d'éthanol à partir de manioc ont été initiées mais n'ont pas été menées à termes..
- Le Sorgho : des essais de production de bioéthanol à partir de Sorgho sucré ont été menés dans les usines de la société INCAUCA dans la Vallée de la Cauca. Mais à ce jour les résultats n'ont pas été concluants et la production de Sorgho est devenue presque embryonnaire en Colombie.
- La Canne traditionnelle dont le débouché unique est la Panela. Ce produit est très important dans l'alimentation des colombiens qui sont les seconds producteurs et premiers consommateurs au monde avec 34,7 kg/personne. Des tentatives sont en cours pour concentrer cette filière mais le débouché restera avant tout alimentaire de par l'attachement culturel de la population à ce produit.

Dans ce contexte, deux scénarios de production durable de cultures énergétiques ont été analysés et chiffrés. Ces scénarios se basent sur deux grands modèles socio-techniques de production :

1. Le premier modèle concerne la production d'huile de palme afin d'alimenter une filière Biodiesel. Ce modèle se base sur une unité de production d'une capacité de 110 000 tonnes de biodiesel par an. L'approvisionnement est assuré à 30% par une plantation intégrée de l'entreprise et à 70% par des producteurs réunis en alliance stratégique. La partie de la production assurée par les producteurs contractuels s'effectue sur des plantations de 10 ha maximum. La distance maximale d'approvisionnement est fixée à 60 km, ce qui correspond à l'organisation spatiale des plantations actuelles permettant de couvrir la distance en une journée et avec un véhicule motorisé.
2. Le second modèle socio-technique, se base sur une unité de production de bioéthanol de 325 000l d'éthanol par jour. En s'inspirant des modèles basés sur des producteurs contractuels dans le secteur de l'huile de palme, la répartition des approvisionnements entre plantation industrielle et familiale a été maintenue à 30% et 70% respectivement. Les planteurs sous contrat d'approvisionnement possèdent des plantations d'une superficie de 50 ha, sur une exploitation de 80 ha (+60%), ce qui représente la surface maximale pour une unité familiale capable d'embaucher environ 7 ouvriers agricoles. Les distances maximales d'approvisionnement ont été maintenues à 60 km.

L'évaluation des potentiels se fait selon la hiérarchie suivante :

Le potentiel théorique est calculé en premier. Il correspond à l'ensemble des terres dont les conditions de climat, de relief et de pédologie sont naturellement favorables à la croissance des cultures bioénergétiques considérées.

Le potentiel disponible : correspond à la part de potentiel théorique que les futurs acteurs de la production pourraient mettre en valeur dans la limite des terres qu'ils peuvent s'approprier, en respectant les normes de production durable et en respectant les usages existants.

Le potentiel technique : il correspond à la fraction du potentiel disponible que les acteurs peuvent techniquement exploiter selon les modèles socio-techniques de production durable. Ce potentiel est évalué par identification à l'échelle du pays et au sein de l'espace disponible, des zones susceptibles d'accueillir les modèles spatiaux des unités de production (taille des plantations, distances de collecte...)

Le potentiel de valorisation : il correspond enfin à la fraction du potentiel technique que seule une portion d'acteurs serait susceptible de mettre en valeur compte tenu des barrières sociales, culturelles et économiques à l'entrée dans cette nouvelle activité. Dans le cadre de cette étude nous avons considéré comme barrière sociale : les risques de conflits et d'insécurité, et comme barrière économique : l'accessibilité des plantations (distances aux pistes et routes existantes)

Pour les deux scénarios évalués les résultats sont les suivants

Tableau 1: résultats des différents potentiels de production de biocarburants.

	Scénario 1 palmier à huile, alliances	Scénario 2 canne à sucre, nouveaux espaces, nouveaux acteurs
Surface totale	114,1 Mha	114,1 Mha
Potentiel théorique	56,1 Mha	57,1 Mha
Potentiel appropriable	12,7 Mha	13,2 Mha
Potentiel disponible	9,1 Mha	9,3 Mha
Potentiel technique	5,5 Mha dont 5,0 Mha en plantations industrielles	5,4 Mha dont 5,0 Mha en plantations industrielles
Potentiel de valorisation	3,4 Mha	3,3 Mha

Les résultats obtenus montrent que le potentiel technique de production durable de biocarburants en Colombie à partir de canne à sucre ou à partir de palmiers à huile sont très similaires et s'élèvent respectivement à 5.5 Mha et 5.4 Mha. Ces résultats sont cohérents avec les objectifs du Ministère de l'agriculture de créer 3 Mha de plantations de palmiers à huile supplémentaires afin d'atteindre les objectifs d'incorporation de 20%.

Néanmoins, à fourchette pluviométrique équivalente et à restrictions environnementales également équivalentes (normes RSPO) nos potentiels techniques se situent bien en dessous des potentiels estimés par la FEDEPALMA qui s'élèvent à 8.6 Mha (FEDEPALMA 2013). Cette différence s'explique en grande partie par le fait que la FEDEPALMA n'a pas inclus les restrictions dues à la prise en compte

des usages existants (notamment les pratiques d'élevage extensif) et n'a pas introduit de limites techniques dans l'organisation spatiale des exploitations.

Même en introduisant de nombreuses contraintes environnementales, sociales et techniques dans nos évaluations, les résultats démontrent un potentiel important en Colombie que ce soit pour le palmier à huile ou pour la canne à sucre.

L'expansion de la filière canne à sucre est techniquement possible en dehors de la seule vallée de la Cauca. Les barrières à son développement sont essentiellement économiques et institutionnelles. Le cluster économique et géographique que forme la filière sucrière n'incite pas ses acteurs à explorer d'autres alternatives. Toutefois les expérimentations menées actuellement par Riopaila et EcoPetrol dans les Plaines Orientales intéressent fortement les autres acteurs de la filière biocarburants en attente de nouvelles références techniques.

L'expansion du palmier à huile est en cours. Cette analyse montre qu'au prix d'une intensification de l'élevage, principalement par une meilleure gestion des troupeaux, le potentiel de développement sans toucher à la forêt est considérable (> 3 Mha). Par ailleurs, le modèle économique des alliances permet d'y associer les communautés locales et semble porteur d'une plus grande durabilité sociale que les modèles agro-industriels « purs ».

A USAGE INTERNE

3. Contexte général et développement économique

3.1. Localisation

La Colombie se situe à l'extrême nord-ouest de l'Amérique du Sud et est la quatrième nation la plus vaste de la région avec une superficie continentale de 1 141 748 km². Le pays est bordé par deux côtes maritimes : l'océan Pacifique et la mer des Caraïbes. Il possède des frontières terrestres avec 5 pays : le Venezuela et le Brésil à l'Est, l'Équateur et le Pérou au Sud-Ouest, le Panama au Nord.

3.2. Caractéristiques biophysiques

La Colombie est traversée du Sud-Ouest au Nord-Est par la cordillère des Andes, qui se sépare au Sud en trois chaînes : Occidentale, Centrale et Orientale. Le point culminant est situé sur un massif montagneux au nord du pays, isolé de la cordillère, il s'agit du Pic Cristóbal Colón (5 775 m). Le climat est peu marqué par les saisons et dépend davantage de l'altitude et des caractéristiques des régions. Ainsi, les températures diminuent généralement de 6°C pour chaque 1 000 mètres de dénivellation ; par ailleurs les températures au niveau de la mer peuvent atteindre 30°C (Mincomer, 2014). Cependant, le climat est également influencé par le phénomène climatique *el Niño* qui déplace les zones habituelles de précipitations et provoque des sécheresses.

Le pays compte 5 régions bioclimatiques : les Andes, l'Amazonie, les plaines Orientales, les Caraïbes et le Pacifique (voir Carte 1).

Les Andes : La région est composée de la chaîne de la Côte et des cordillères Occidentale, Centrale et Orientale. Les cordillères Occidentale et Centrale sont séparées entre elles par le fleuve Cauca tandis que les cordillères Centrale et Orientale encadrent la vallée du fleuve Magdalena. Les variations climatiques sont très importantes dans la région compte tenu du relief. Les sols des zones montagneuses alternent entre affleurements rocheux et sols superficiels. Cependant dans les vallées des fleuves Cauca et Magdalena, les sols présentent une forte fertilité et donc un intérêt agricole important.

L'Amazonie : La région Amazonie est située dans deux des plus grands bassins hydrographiques du monde : ceux des fleuves Orinoco et Amazone. Les températures varient très peu, de 21,5°C entre juin et août, à 30°C en décembre et janvier (SIAT-AC 2014). La région comporte de nombreux cours d'eau, qui prennent naissance dans la cordillère des Andes et s'écoulent d'Ouest en Est. De façon générale, les sols de la région sont pauvres et se dégradent rapidement, la couche organique est fine (SIAT-AC 2014).

Les plaines Orientales : Cette région couvre le tiers du territoire national pour une très faible densité de population. Le climat se décompose en deux saisons : une saison chaude et sèche (de décembre à mars) et une saison humide et plus froide (d'avril à décembre). Les températures varient de 25 à 30°C. La pluviométrie n'est pas uniforme dans l'ensemble de la région, et peut atteindre 5 500mm/an au piémont de la Cordillère Orientale (World Clim 2010). Les plaines de la Orinoquia et de l'Amazone sont constituées de sédiments provenant de la Cordillère des Andes et du plateau des Guyanes (appelé également bouclier guyanais²). Des mouvements tectoniques sont à l'origine de la différenciation géologique de la plaine, séparée par le fleuve Meta : la partie de la plaine de l'Arauca (au Nord) est de forme concave, alors que la partie du Meta et du Vichada (au Sud) est de forme

² formation géologique du Précambrien qui forme des plateaux d'altitude et qui recouvre le Venezuela, le nord du Brésil délimité par l'Amazone, le Guyana, le Surinam et la Guyane française.

convexe. C'est pour cette raison que la première est désignée sous le terme d'Orinoquia inondable et la seconde d'Orinoquia non inondable ou « *altillanura* » pour sa capacité à drainer l'eau (Corpes Orinoquia 1996). Les plaines inondables présentent une plus grande fertilité contrairement à l'*altillanura* dont les sols sont moins fertiles et soumis à une période sèche plus marquée (de 3 à 4 mois).

Les Caraïbes : Cette région est principalement constituée de plaines et de terres basses, bien qu'une partie atteigne les contreforts des trois cordillères. De plus, la région comprend le massif de la Sierra Nevada de Santa Marta, situé au nord du pays, source de nombreux cours d'eau qui rejoignent la vallée de la Magdalena. Le climat est chaud et sec avec de fortes variations dans les chaînes montagneuses de la Sierra Nevada de Santa Marta ou dans la péninsule semi-désertique de la Guajira (extrême Nord-Est). Dans les parties basses des vallées, les sols sont fréquemment inondés. Dans les parties plus hautes des vallées, la fertilité est plus importante et les sols sont bien drainés. Dans les zones côtières les sols sont sableux, de faible fertilité et parfois salins, comme dans la péninsule de la Guajira ou dans le département Atlántico.

Le Pacifique : c'est l'une des régions qui reçoit le plus de précipitations au monde (Cordoba 2002) qui peuvent atteindre 10 000 mm/an dans certaines zones (World Clim 2010). Les trois quart de la région se trouvent sous un climat chaud avec des températures supérieures à 23°C. Les sols présentent des caractéristiques des climats chauds et humides : ils y sont principalement acides et peu évolués. Cependant, deux zones aux précipitations plus faibles, présentent une plus forte fertilité des sols : Ríos Mira y Patía et Darién Chocoano.



Carte 1 : Régions Bioclimatiques de Colombie (IGAC 2012)

Les caractéristiques biophysiques du pays sont à l'origine de la diversité des biotopes qui explique la forte biodiversité du pays. La Colombie est le 2^e pays le plus riche de la planète en termes de biodiversité, à ce titre il est classé comme « Pays Mégadivers » parmi les 17 pays identifiés par le

programme des Nations-Unies pour l'environnement. Il concentre 10% de la biodiversité de la planète et 7% de celle de la forêt amazonienne (Mincomer 2012; Instituto von Humboldt 2014).

3.3. Economie

Dans son histoire récente, la Colombie a vécu un changement de grande importance dans son modèle économique et politique à partir des années 1990, qui marquent son entrée dans l'économie libérale. Avant cette date, le modèle économique est protectionniste et son fonctionnement consiste à réguler et protéger les entreprises nationales de la concurrence internationale. A partir du milieu des années 1980, dans le contexte de la crise de la dette externe en Amérique latine, et suivant les recommandations de la Banque Mondiale et du FMI, la Colombie adopte le *Programme de modernisation de l'économie colombienne*, qui pose les bases d'un modèle d'ouverture économique.

Les conséquences de l'adoption de cette politique libérale provoquent un changement dans la composition du produit intérieur brut, avec une forte baisse du secteur agricole et industriel et une hausse du secteur des services. Les années 1990 sont marquées par la récession de l'économie nationale et l'investissement étranger passe ainsi de 14 % en 1990 à 4 % du PIB en 2000 (Minminas 2006). A partir des années 2000, l'économie redémarre : le taux de croissance atteint 4,2 % et l'investissement étranger se multiplie par 4, particulièrement tourné vers les secteurs pétroliers et miniers. Durant cette période, les extractions pétrolières s'intensifient et le pétrole devient le principal produit d'exportation devant le café. En 10 ans, le nombre de puits pétroliers passe de 12 à plus de 120 (Minminas 2006). Les exportations du pays augmentent fortement passant de 11 000 millions US\$ en 2002 à 32 000 millions US\$ en 2010 (El País 2010). La politique sécuritaire du président Álvaro Uribe visant à récupérer les zones du pays sous influence des groupes armés illégaux permet de reconquérir la confiance des investisseurs et la Colombie devient la 4^e économie d'Amérique latine (Infolatam 2010).

L'économie colombienne a davantage résisté à la crise économique de 2009 qui a durement affecté l'économie mondiale. Ainsi, en 2009, alors que la plupart des pays entraient en récession, son taux de croissance atteignait 1,7 %. En 2011, ce dernier s'élève à 6,6%, plaçant le pays à la 5^e place en Amérique latine après le Panama (10,8%), l'Argentine (8,9%), l'Equateur (7,8%) et le Pérou (6,9%). En 2013, la Colombie se positionne au 15^e rang parmi 75 nations avec un taux de croissance de 4,3% et un investissement étranger à 28,4 % du PIB (Banque mondiale 2014a).

Selon l'indice de globalisation fourni par Ernst & Young, la Colombie est le 4^e pays dont l'économie est la plus globalisée d'Amérique latine, devant le Brésil et l'Argentine, et se positionne au 43^e rang parmi 60 pays (La República 2013). Le pays est très actif au niveau du commerce international et a ratifié 9 traités de libre-échange, le principal étant signé avec les Etats-Unis. Parmi les autres traités principaux se trouvent l'Accord de la communauté andine (avec la Bolivie, le Pérou et l'Equateur), le traité du MERCOSUR et celui de l'Union-Européenne.

L'Indice de développement humain (IDH) de la Colombie est considéré comme élevé, avec une valeur de 0,719 en 2012, soit le 91^e rang mondial. Cependant, la répartition de la richesse est très inégalitaire. Le coefficient de GINI, qui mesure le degré d'inégalité de distribution des revenus est de 0,54³. En 2010, les 20 % de la population la plus riche possédaient 60,2 % de la richesse nationale alors que les 20 % les plus pauvres n'en possédaient que 3% (Banque mondiale 2014b). Pour la même année, 37,2 % de la population vivait en dessous du seuil national de pauvreté, soit 15,8 % avec moins de 2 US \$/jour (Banque mondiale 2014b).

³ Sur une échelle allant de 0 à 1, le maximum correspond à une répartition parfaitement égalitaire.

Le conflit armé a fortement affecté le milieu rural, où la pauvreté et les inégalités sont très fortes. L'indice de GINI en zone rurale diminue à 0,45. En 2009, la pauvreté affectait 64 % de la population rurale (contre 46 % à l'échelle nationale) et l'extrême pauvreté 40 % (contre 29 % à l'échelle nationale). Actuellement en zone rurale, plus de 7 millions de personnes sont considérées comme pauvres et 2 millions vivent en condition d'extrême pauvreté (FIDA 2014).

A USAGE INTERNE CIRAD

4. Le secteur agricole

Le secteur agricole a fortement perdu de son importance dans l'économie nationale, avec la libéralisation de l'économie et le conflit armé. Le PIB agricole a chuté entre 1970 et 2013, passant de 25% à 5,2% du PIB. Le conflit armé a provoqué quant à lui le déplacement de plus de 300 000 familles rurales.

4.1. La production agricole

La politique de substitution aux importations, de vigueur jusqu'aux années 1990, permet le développement du secteur agricole à l'aide de mesures telles que l'augmentation des barrières douanières à l'importation et par une politique monétaire de contrôle du taux de change (Kalmanovitz and López 2006). Cette politique protectionniste permet dans un premier temps la réduction des coûts de production et la protection des prix internes face aux fluctuations internationales. Les premières mesures du modèle économique libéral mis en place à partir des années 1990, consistent à réduire les taxes douanières, augmenter les importations et rendre flexibles les prix des produits agricoles selon l'évolution des cours internationaux. Elles ont pour conséquences de fragiliser le secteur agricole, ce qui a été amplifié par le contexte de baisse des prix internationaux des produits agricoles, par la dévaluation du peso, par la faible productivité du secteur agricole colombien et par l'expansion des cultures agricoles illégales (Kalmanovitz and López 2006). Les importations de produits agricoles ont fortement augmenté et se sont concentrées sur le blé, le maïs, l'orge, le riz, les fruits (Corrales Roa and Forero Alvarez 1999). En conséquence, les systèmes de production agricoles se transforment et se spécialisent vers les exportations au détriment des productions de consommation locale (voir Tableau 1). Entre 1990 et 1997, les cultures annuelles ont ainsi diminué de 800 000 ha, alors que les cultures permanentes ont augmenté de 300 000 ha (Corrales Roa and Forero Alvarez 1999).

Tableau 2 : Spécialisation des systèmes de production agricoles colombiens vers les produits d'exportation

Superficies cultivées (ha)	en 1970	en 2012
Café	500 000	708 000
Coton	450 000	43 000
Riz	400 000	493 000
Soja	100 000	43 000
Sorgho	80 000	6 000
Cacao	80 000	18 000
Canne à sucre	50 000	207 000
Palmier à huile	30 000	344 000
Banane	25 000	49 000

Source : (Agronet 2013 et Rivera 2014)

Dans ce contexte économique libéral, la Colombie se positionne aujourd'hui en tête des exportations mondiales sur certains produits agricoles : 2^e pays exportateur de fleurs coupées, 3^e pour les bananes et le café, 7^e pour le sucre raffiné, 15^e mondial et 1^{er} en Amérique latine pour l'huile de palme (FAOSTAT 2014). La Colombie est également le premier pays producteur mondial de panela (sucre de canne brut non raffiné) (SIC 2013), presque exclusivement destinée à la consommation nationale. Bien que profondément bouleversé par le changement de politique économique, le secteur agricole demeure primordial pour l'économie nationale : il absorbe 31 % des exportations totales du pays et 27 % des emplois nationaux. En zone rurale, il concerne 62,3 % des emplois ruraux.

4.2. Statut et répartition des terres agricoles

La tenure foncière est caractérisée par l'informalité des droits de propriété, l'occupation illégale de terrains de l'Etat (appelés *baldíos*) et le déplacement de populations rurales du fait du conflit armé.

En 2009, seuls 86 millions d'hectares sont enregistrés au cadastre national sur les 114 millions que compte le pays. Ces parcelles sont réparties de la façon suivante : 44,7% correspondent à des propriétés privées, 29% aux communautés amérindiennes, 20,9% appartiennent à l'Etat, 3,7% sont des aires protégées, 1,5% appartiennent aux communautés d'afro-descendants et 0,5% aux communautés religieuses et autres (Balcazar and Rodriguez 2013). Seuls 18% des producteurs possèdent un titre formel de propriété, pour les petits producteurs ce chiffre s'élève à 40% (Semana 2012). Cette absence de formalisation s'explique par le coût élevé de la démarche, l'accès difficile aux bureaux des notaires et des administrations correspondantes et le manque de coordination de ces dernières (Balcazar and Rodriguez 2013).

Par ailleurs, l'indice de concentration de la terre est l'un des plus élevés au monde : en 2011, 69,7% des parcelles enregistrées et de taille inférieure à 5 ha couvraient seulement 6% de la surface répertoriée ; en revanche 1% des parcelles de plus de 200 ha en couvraient 43,1%. Cette distribution inégale de la terre a généré des distorsions sur le marché foncier, créant ainsi une hausse des prix des parcelles déjà enregistrées, accompagnée d'une sous-utilisation de ces dernières : leur vente, transmission ou location engendre un coût administratif supplémentaire qui limite l'intensification de leur utilisation (Perfetti, Balcazar, and Hernandez 2013). De plus, le conflit armé a conduit à une accumulation de terres improductives où destinées aux cultures illégales. Depuis 1980 à nos jours, les terres abandonnées du fait du conflit sont estimées à 6,6 millions d'hectares parmi lesquelles 82,9 % ont été abandonnées par leurs occupants, 1,8% transmises à un tiers sans compensation et 7,6% vendues à bas prix (Balcazar et Rodriguez 2013). Depuis 2011, le gouvernement est engagé dans un processus de reconnaissance des victimes du conflit et a pour objectif de permettre le retour des déplacés et l'attribution de compensations financières.

Du fait de cette répartition inégale de la terre et du conflit, le FIDA estime que 1,3 million de familles rurales n'ont pas accès à la terre, la moitié d'entre elles sont employées comme ouvriers agricoles par de grands propriétaires fonciers, l'autre moitié développe des activités dans le secteur des services et du commerce (FIDA 2014).

Pour remédier à la répartition inégale des terres, l'Etat a créé un Fond Agraire National⁴ depuis les années 1961, administré par l'Institut Colombien de la Réforme Agraire⁵ (INCORA), devenu l'Institut National de développement rural (INCODER⁶) en 1994 (Balcazar et al. 2001). La loi 135 de 1961 permettait ainsi de légaliser le droit de propriété des paysans qui exploitaient ou louaient certaines terres quand le titre de propriété n'était pas clairement établi, ou quand les terres de grands propriétaires étaient jugées comme sous-utilisées. Les terres étaient ensuite redistribuées, en priorité aux travailleurs agricoles de la zone, en respectant les dimensions établies par les Unités agricoles familiales (UAFS)⁷, fixées par l'administration selon les conditions biophysiques du municipio : type de sol, disponibilité en eau, possibilité d'irrigation, relief, type de productions agricoles potentielles, etc. Cependant, cette loi n'a pas eu les effets escomptés et a provoqué l'expulsion des paysans par les grands propriétaires fonciers, de peur de se faire déposséder de leurs terres. La loi de 1994 (INCORA 1996) a pour objectif de pallier ces dérives et développe de nouveaux mécanismes pour l'achat de terres par les paysans et fermiers. Cette dernière loi inclut les terres appartenant au domaine de l'Etat (*baldíos*) et théoriquement non utilisées. Ainsi, selon la loi, ces UAF

⁴ Fondo Nacional Agrario

⁵ Instituto Colombiano de la Reforma Agraria

⁶ Instituto Nacional de Desarrollo Rural

⁷ Unidades Agrícolas Familiales

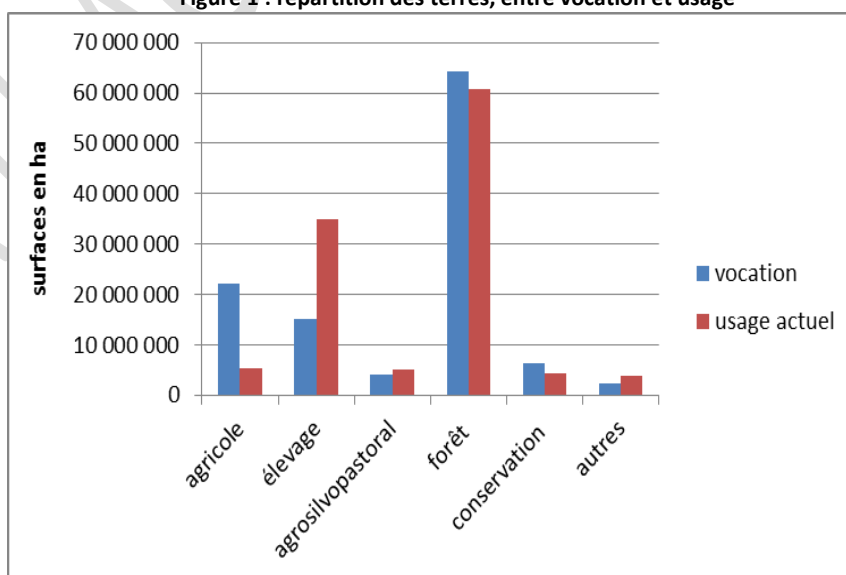
doivent permettre de satisfaire les nécessités des familles agricoles et d'accumuler un patrimoine foncier. Ces unités sont calculées afin de permettre à une exploitation familiale agricole ou forestière d'exploiter directement des terres à partir de la force de travail familiale ou de la main d'œuvre salariée temporaire. Les revenus obtenus par ces activités doivent atteindre l'équivalent de 3 salaires minimum mensuels et d'un excédent permettant d'épargner (Departamento Nacional de Planeación 2000). Les bénéficiaires des UAF ne doivent pas avoir d'autres terres issues de cette redistribution et ne peuvent les vendre avant un délai de 12 ans, sauf dérogation de l'INCODER.

Ces conditions d'acquisition de terres sont devenues des fortes restrictions au développement de modèles industriels de production agricole. Par exemple, la société Riopaila a fait l'objet d'un scandale médiatique à l'échelle nationale par l'achat de plus de 40 000 ha à des paysans par l'intermédiaire de 27 sociétés. Ces paysans avaient obtenus ces terres par le mécanisme de redistribution des terres à partir de baldíos (Semana 2013).

Cependant, les restrictions foncières par les UAF sont remises en question, notamment avec le Plan National de développement⁸ 2010-2014. Cette contradiction est d'ordre légal puisque la loi 1450 de 2011 qui découle de ce plan, incite à la création de projets de développement agricole et forestier en apportant une flexibilité à la loi sur les UAF. Les acquisitions de terres peuvent atteindre une superficie 10 fois supérieure à celle fixée par les UAF lorsqu'il est démontré que le projet génère un investissement sur les secteurs agricoles, crée de l'emploi, de l'innovation, permet un transfert technologique et intègre les alliances ou associations de petits, moyens ou grands producteurs. Ces projets doivent être soumis à la Commission de projets spéciaux de développement agricole et forestiers⁹.

Ces inégalités foncières qui caractérisent la Colombie se traduisent également au niveau de l'occupation de la terre. Selon une étude de l'IGAC (2012), la superficie des terres à vocation agricole est estimée à 28 millions d'hectares (Figure 1), mais seulement 5 millions est réellement occupée par des activités agricoles (soit 24%). Sur ces dernières 36 % sont dédiées aux cultures annuelles (riz, maïs, soja, coton) et 64 % aux cultures permanentes (palmier à huile, café) (Agronet 2013). A l'inverse, les terres à vocation pastorales sont estimées à 15 millions d'hectares, alors que cette activité occupe 35 millions d'hectares, ce qui témoigne du caractère extensif de l'élevage dans ce pays.

Figure 1 : répartition des terres, entre vocation et usage



⁸ Plan Nacional de Desarrollo

⁹ Comisión de Proyectos Especiales de Desarrollo Agrícola y Forestal

4.3. Le secteur forestier

La forêt occupe 59,8 millions d'hectares, soit 52% du pays. Le taux de déforestation est officiellement en baisse pour la période 2011-2012, avec 147 946 hectares, par rapport à la période de 2005-2010 qui atteignait 238 273 ha/an (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible 2014), bien que d'autres études avancent un taux annuel de déforestation de 238 000 ha en 2011 (Cabrera et al 2011, in Castiblanco, Etter, and Aide 2013). Les départements qui concentrent les plus fortes pertes sont le Caquetá, Meta et Guaviare qui cumulent 46% des superficies déforestées (Semana 2013). Cependant, la déforestation reste un phénomène de grande ampleur, puisque ces 20 dernières années la Colombie a perdu 5,4 millions d'hectares de forêt, une superficie égale à celle du Costa Rica (García Romero 2013). Les biocarburants sont généralement désignés comme des facteurs majeurs de déforestation, particulièrement en Asie. Or en Colombie, certaines études montrent que les principales causes de déforestation sont les activités minières légales et illégales, l'expansion de l'élevage, les cultures illicites comme la coca (García Romero 2013), la proximité des routes et la croissance urbaine (Etter et al. 2006). Les travaux d'analyse spatiale de C. Castiblanco et al sur des plantations de palmiers à huile entre 2002 et 2008 montrent d'ailleurs que les plantations se concentrent dans des zones de pâturage : sur les 155 100 ha de nouvelles plantations de palmiers à huile établies entre 2002 et 2008, 51% ont été installées sur des zones de pâturage, 29,1 % sur des zones agricoles et 16,1 % sur des zones naturelles (forêts et savanes) ou des recrûs forestiers (Castiblanco, Etter, and Aide 2013). L'expansion de l'élevage représente 60 % des superficies déforestées qui traduisent deux stratégies distinctes : l'installation d'un élevage productif ou la simple occupation de la terre (Grau y Aide 2008, in García Romero 2013).

5. Le potentiel de développement des bioénergies en Colombie

D'après différentes études, l'Amérique latine et les Caraïbes constituent un potentiel énergétique issu de la biomasse qui pourrait représenter entre 17 et 26% de la production mondiale à l'horizon 2050, valeur supérieure aux autres régions, excepté l'Afrique sub-saharienne (Razo et al. 2007).

L'unité de planification minière et énergétique¹⁰ (UPME) estime le potentiel énergétique à partir de la biomasse à 16 265 MW/an réparti de la façon suivante : 11 825 MWh/an à partir de résidus agricoles et agro-industriels, 2 640 MWh/an à partir de bioéthanol de canne à sucre, 660 MWh/an à partir d'huiles végétales (essentiellement palmier à huile), 440 MWh/an à partir de résidus de plantations forestières, et 700 MWh/an à partir de résidus de forêts naturelles (UPME 2003).

L'IDEAM et l'UPME ont également réalisé un « atlas du potentiel de biomasse issue de résidus agricoles », où huit cultures ont été sélectionnées pour leurs résidus à partir des surfaces actuellement cultivées. La canne à sucre présente le plus fort potentiel, puis viennent la canne panela et le café (Tableau 2). Les autres cultures (riz, maïs, palmier à huile, bananier plantain et bananier) présentent un potentiel beaucoup plus faible. Il faut cependant noter que ces calculs correspondent à l'utilisation de 100% des résidus agricoles et agro-industriels sans prise en compte des autres usages (alimentation humaine, animale, fertilisation des sols, agro-industries etc.) (Minminas 2011). Les résultats obtenus par le palmier à huile sont assez faibles car les rafles¹¹ n'ont pas été prises en compte.

Tableau 3 : potentiel énergétique de la biomasse résiduelles de 8 cultures (étude UPME et IDEAM 2011)

Culture	Superficie cultivées	Part (%)	Quantité de biomasse résiduelle (tonne/an)	Part (%)	Potentiel énergétique (TJ/an)	Part (%)
Canne à sucre	209 155	8	15 534 591	22	118 579	36
Canne panela	168 119	7	9 513 430	13	81 055	24
Café	701 660	28	5 051 248	7	49 107	15
Riz	418 033	16	6 282 407	9	27 836	8
Maïs	451 905	18	1 937 130	3	20 803	6
Palmier à huile	251 344	10	1 660 074	2	16 014	5
Bananier plantain	293 588	12	20 414 043	28	11 657	4
Bananier	53 696	2	11 550 891	16	6 596	2
TOTAL	2 547 500	100	71 943 813	100	331 646	100

¹⁰ Unidad de Planeación Minero-Energética

¹¹ Régime de palmier dont les fruits ont été séparés.

5.1. Une politique volontariste qui s'appuie sur un secteur agro-industriel performant

La production de biocarburants est fortement soutenue par l'Etat colombien qui a légiféré dès le début des années 2000 afin de favoriser l'émergence de cette nouvelle filière. En 2001, la loi 697 autorise la production, commercialisation et l'incorporation du bioéthanol à l'essence et s'appuie en cela sur le *Programme d'usage rationnel et efficient de l'énergie*¹² (POURE), porté par le Ministère des Mines et de l'Energie (Minminas 2010). En s'appuyant sur son secteur agro-industriel sucrier très performant l'éthanol est commercialisé à partir de 2005.

La production de biodiesel est quant à elle encadrée par la loi 939 de 2004 et est commercialisé à partir de 2008. Ces deux lois encadrent le *Programme national de biocarburants*¹³ dont l'objectif est de diversifier et d'atteindre l'autosuffisance énergétique du pays tout en améliorant l'environnement et la qualité de l'air, en générant des emplois ruraux et en développant l'agro-industrie du pays (Rueda 2012).

Pour les deux produits, l'expansion a été rapide : en 2013 la production d'éthanol s'élève à 393 000 tonnes par an (387 millions de litres/an) à partir de 5 distilleries, toutes localisées dans la Vallée de la Cauca. La production annuelle de biodiesel s'élève quant à elle à 505 000 tonnes, fournie par 6 huileries localisées dans différents départements et régions bioclimatiques du pays (Fedebiocombustibles 2014). Aujourd'hui, la Colombie est le 3^e pays producteur de biocarburants d'Amérique latine, derrière le Brésil et l'Argentine et est le 10^e pays producteur d'éthanol au monde avec 0,4% de la production mondiale (Rueda 2013). La totalité de la production de biocarburants colombiens est consommée à l'échelle nationale et représente 2 % de l'offre énergétique locale (voir Figure 2) (UPME 2010, in Rueda 2013). Les biocarburants colombiens sont principalement utilisés dans le secteur des transports, en substitution des hydrocarbures.

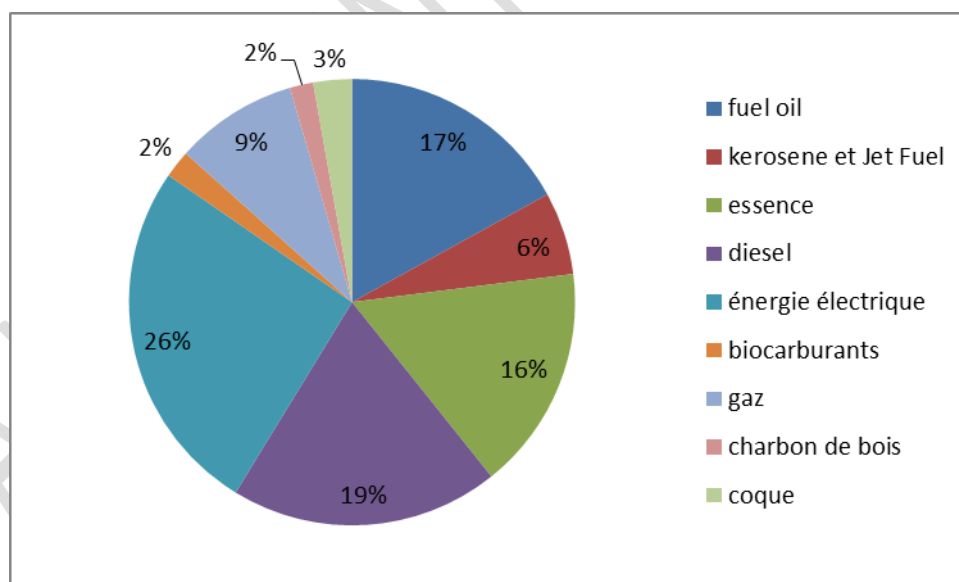


Figure 2 : l'offre énergétique locale en Colombie (source UPME 2010)

L'engagement de l'Etat sur les filières biocarburants se traduit également par sa politique d'encadrement des prix de vente des biocarburants, ce qui est actuellement la seule mesure de

¹² Programa de Uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales

¹³ Programa nacional de biocombustibles

régulation de prix mise en œuvre par le gouvernement. Les prix sont fixés de façon mensuelle, en fonction de l'évolution des cours internationaux du sucre pour l'éthanol et de l'huile de palme pour le biodiesel, des coûts estimés de production des biocarburants et de l'évolution de leurs prix sur le marché international (Rueda 2013). Le taux d'incorporation actuel est de 8% pour le bioéthanol et de 10% pour le biodiesel, distribué dans tout le pays, excepté les zones frontalières où les taux d'incorporation sont plus faibles (respectivement 6 et 8%). Selon diverses sources, le taux d'incorporation pourrait atteindre 20 % d'ici 2020, en accord avec les engagements de la conférence sur le changement climatique tenue à Lima en 2014. Cet objectif nécessiterait d'étendre les superficies cultivées pour la production de biodiesel (palme principalement), mais ce qui ne serait pas le cas pour l'éthanol si de nouvelles techniques de production pour la valorisation de la biomasse cellulosique sont mises œuvre. Elles seraient actuellement en cours d'expérimentation et permettraient d'augmenter le rendement de bioéthanol par hectare de canne récolté.

La récente loi 1715 de 2014 autorise l'intégration des énergies renouvelables non conventionnelles au système énergétique national et a pour objectif de substituer progressivement le gasoil utilisé dans les petites centrales électriques des zones non connectées au réseau national d'électricité. Cette loi offre donc la possibilité aux producteurs de biocarburants de générer de l'électricité et de la vendre. Elle répond à l'objectif du plan d'action incitatif 2010-2015 qui vise à atteindre une participation de 20% des énergies non conventionnelles dans les zones non connectées au réseau national d'électricité, et de 3,5% dans le réseau national d'électricité.

L'Etat finance également des activités de recherche sur ces nouvelles filières et technologies. Le Ministère de l'agriculture et du développement rural a ainsi appuyé 31 projets pour un montant de \$ 33 milliards avec un financement de près de 50%. Les recherches effectuées concernent : l'évaluation des variétés et superficies aptes à la production de biocarburants, l'évaluation environnementale et énergétique de l'utilisation de l'éthanol et du biodiesel dans les moteurs, l'amélioration de la production d'éthanol et de biodiesel, la décontamination des effluents, l'utilisation de co-produits comme la glycérine pour l'alimentation animale, le CO₂ pour un usage dans l'industrie chimique, les vinasses pour la fertilisation et l'alimentation animale, les biocarburants de seconde génération (à partir de résidus de banane, de canne à sucre et d'algues) (Mejia 2012).

Des activités de recherche sont également menées dans le secteur privé, comme des essais de différents taux d'incorporation dans les moteurs réalisés par Cenipalma et l'Institut Colombien du pétrole (ICP), puis par Fedepalma et enfin par le Ministère des Mines de l'Energie, General Motors, Exxon Mobil et l'Université d'Antioquia. Par ailleurs, les centres de recherche Cenipalma et Cenicaña ont fortement contribué au développement du Programme national de biocarburants.

5.2. Les systèmes de production et technologies actuelles

Le secteur des biocarburants fourni des revenus à plus de 95 000 familles, dont 75% dans la filière biodiesel et seulement 25% dans celle de l'éthanol, ce qui s'explique principalement par les différences dans la structure et les acteurs de ces filières.

5.2.1. La filière bioéthanol à partir de canne à sucre

En Colombie le bioéthanol provient exclusivement de la canne à sucre. Cette culture est produite de façon industrielle depuis plus de 100 ans et son aire géographique est concentrée dans une région particulière : la Vallée de la Cauca. Cette vallée présente des conditions bioclimatiques qui permettent une récolte de la canne toute l'année et d'obtenir les meilleurs rendements mondiaux : jusqu'à 120 t/an (Rueda 2013). Pour l'année 2013, la production de canne s'élève à environ 22 millions de tonnes pour une production de sucre de 2 millions de tonnes (voir tableau 4).

Tableau 4 : évolution du secteur de la canne à sucre et de la production de bioéthanol (Fedebiocombustibles, 2014)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Canne (millions de tonnes) ¹⁴	19,20	23,58	20,27	22,72	20,82	21,56
Superficie semée (ha)	205 664	208 254	218 311	223 905	227 748	225 560
Production de sucre (millions tonnes métriques ¹⁵)	1,92	2,46	1,96	2,20	2,07	2,12
Vente de sucre sur le marché interne (millions tonnes métriques ¹⁶)	1,62	1,55	1,53	1,52	1,64	1,69
Exportations de sucres (millions tonnes métriques ¹⁷)	0,45	1,00	0,65	0,89	0,72	0,67
Production d'éthanol (millions de litres)	255,84	327,70	291,28	337,39	369,72	387,85

La production de canne est concentrée chez les grands producteurs et les plantations des agro-industries sucrières. Sur les superficies semées en canne à sucre, 76% appartiennent à plus de 2 700 producteurs et les 24% restants appartiennent aux 13 usines sucrières situées principalement dans le département de la Cauca (Asocaña 2014). Le secteur sucrier représente 2,5% du PIB national et 40% du PIB du département de la Cauca.

Le secteur sucrier forme un « cluster » par le réseau d'entreprises que forme la filière et par l'utilisation des multiples produits et sous-produits de la canne. Le jus de canne extrait des cannes fraîches permet tout d'abord de produire du sucre brut ou blanc (après raffinage). La mélasse, résidu liquide obtenu après extraction du sucre du jus de la canne, est ensuite fermentée et distillée afin d'obtenir de l'éthanol ou de l'alcool alimentaire ou industriel. Elle est également utilisée pour l'alimentation humaine ou animale. Les bagasses, résidus solides obtenus par le broyage des cannes, peuvent être utilisées pour la production de pâte à papier ou comme combustibles pour la production d'énergie thermique ou électrique destinée au processus industriel ou à être vendues au réseau électrique. La production annuelle de bagasse s'élève à 6 millions de tonnes dont 85% sont utilisées comme combustible pour les chaudières des sucreries ou distilleries, et 15 % pour l'industrie papetière (Rueda 2012). Le cluster du secteur sucrier concentre plus de 50 entreprises qui dépendent de ces produits et sous-produits : 40 produisent des aliments sucrés et confiseries, 8 des alcools alimentaires, 3 des boissons gazeuses et autres, une produit du papier et une dernière produit du sucre pour l'industrie chimique (Arango and Yoshioka 2011; Asocaña 2012).

La canne à sucre, d'excellents rendements agricoles et énergétiques pour la production de bioéthanol

La canne à sucre présente à la fois un rendement agricole et une efficacité énergétique bien supérieure aux autres biomasses potentielles pour la production de biocarburants (bioéthanol ou biodiesel)(voir Tableau 4). C'est pourquoi cette culture a été rapidement retenue pour la production de bioéthanol en Colombie.

Tableau 5: rendements et efficacité énergétique (sources : Ministère de l'agriculture 2007)

	Rendements bioéthanol	Efficacité énergétique (énergie
--	------------------------------	--

¹⁴ Canne destinée à la production de panela non comprise

¹⁵ En tonnes métriques (exprimé en équivalent de sucre brut)

¹⁶ En tonnes métriques (exprimé en équivalent de sucre brut)

¹⁷ En tonnes métriques (exprimé en équivalent de sucre brut)

	(en l/ha/an)	produite/énergie nécessaire)
Canne à sucre	9 000	8,3
Canne panela	5 000	8,3
Manioc	4 500	1,2
Sorgho sucré	4 400	2,9

Les principaux acteurs de la filière sucrière et bioéthanol

Le secteur sucrier est très fortement structuré et représente une force politique importante dans le pays, étant donné son importance économique et sociale. La partie agricole est représentée par Asocaña qui est l'association des producteurs de canne à sucre et qui compte 60 membres qui proviennent essentiellement du secteur agro-industriel. Procaña est l'association des producteurs et des fournisseurs (petits producteurs contractuels) de canne et compte 325 membres. Au niveau de l'appui technique et de la recherche, le secteur dispose d'un centre de recherches appelé Cenicaña et d'une association des agents techniques de la canne appelée Tecicaña. Pour la commercialisation internationale de sucre et des mélasses, il existe une structure appelée Ciamsa (Procaña 2013).

Parmi les 13 usines sucrières colombiennes, 12 co-génèrent de l'électricité principalement à partir de la bagasse, une seule produit de l'alcool industriel et cinq produisent également du bioéthanol : il s'agit de Manuelita, Incauca, Providencia, Mayagüez et Risaralda. La production journalière d'éthanol de ces cinq distilleries s'élève à environ 1 300 000 litres (Asocaña 2014) (voir Tableau 5).

Tableau 6 : les producteurs de bioéthanol (source : à partir de Minminas 2012)

Société	Capacité de production d'éthanol (l/j)	Production de sucre brut (t/an)	Superficie de canne à sucre (ha)
Incauca	350 000	97 690	11 942
Ingenio Providencia	300 000	65 126	9 287
Manuelita	250 000	81 408	8 721
Mayagüez	250 000	48 845	6 587
Ingenio Risaralda	100 000	32 563	3 004
TOTAL	1 250 000	325 632	39 541

Manuelita est l'une des principales entreprises agro-industrielles productrices d'éthanol. Cette entreprise familiale est la pionnière dans le secteur et a été fondée en 1864. La production se base sur 24 000 ha de plantations de canne à sucre situées dans la Vallée de la Cauca, dont 5 000 ha appartiennent à l'entreprise et 5 000 ha sont sous contrat de location. Les 14 000 ha restant proviennent d'une centaine de producteurs contractuels qui exploitent entre 50 ha et 500 ha de canne. L'entreprise fournit une assistance technique et financière avec la possibilité de paiements anticipés sur la récolte et de prêts à 3 ans. L'usine de Manuelita transforme 2,8 à 3 millions de tonnes de canne par an. La production est de 300 000 tonnes/an de sucre raffiné et 75 millions de litres d'éthanol par an (soit environ 250 000l/j). L'usine est auto-suffisante en énergie, grâce à la co-génération à partir des bagasses. La production agricole et l'unité de transformation emploient 3 000 personnes environ, dont 450 pour l'unité de transformation. Cette société produit également du biodiesel (voir §3.2.2 p21). Elle est actuellement présente au Chili, au Brésil et au Pérou où elle produit également du sucre et s'est diversifiée vers la production de crevettes, moules, raisin de table et autres fruits.

Il faut souligner qu'actuellement aucune production d'éthanol n'est réalisée en dehors de la Vallée de la Cauca. La société Bioenergy, filiale d'Ecopetrol, a initié un projet de production d'éthanol dans

les Plaines orientales, avec la collaboration de Riopaila qui fournit la canne. Cependant, selon différentes informations, la production de canne à sucre dans les Plaines orientales a subi des échecs et Bioenergy n'est pas encore entré en production. Au niveau de la partie agricole, le modèle technique ne semble pas être abouti, les rendements récemment obtenus atteignent 70t/ha (ce qui est comparable à ceux obtenus au Brésil dans le *Cerrado*) mais il persiste encore de nombreuses incertitudes agronomiques.

5.2.2. La filière du biodiesel à partir d'huile de palme

Le secteur de l'huile de palme est beaucoup plus dispersé que celui de la canne à sucre, aussi bien au niveau géographique qu'à celui des acteurs qui y participent. Il est également plus récent et est produit de façon industrielle depuis seulement 60 ans. Actuellement, seul le biodiesel issu d'huile de palme est commercialisé.

La superficie nationale des plantations de palmiers à huile s'élève actuellement à 480 000 ha et est en forte expansion avec un taux de croissance annuel de 10 %. Les plantations se situent dans presque tout le pays et sont présentes dans 17 départements (Fedepalma 2013). L'huile de palme est un produit important dans l'économie nationale avec 0,3% du PIB et 4,9% du PIB agricole. Au niveau de l'industrie agro-alimentaire, ce produit apporte 60 % des matières premières destinées à la fabrication des huiles et graisses comestibles, savons et autres produits de l'industrie colombienne (El Informador 2013).

Le rendement agricole moyen est de 3,1 tonnes d'huile brute par hectare, mais est très variable selon les plantations et peut aller de 2,5 à 6,3 tonnes (Corpodib 2005). En 2013, la production d'huile de palme a dépassé le million de tonnes et celle de l'huile et des tourteaux de palmiste s'élèvent respectivement à 85 000 et 112 000 tonnes (El Economista 2014). Cependant ces dernières années, une épidémie phytosanitaire de grande ampleur en Amérique latine, appelée « pourriture au cœur » causée par *Phytophthora palmivora*, a détruit plus de 100 000 ha de plantations, sans que des traitements ne soient encore élaborés.

Tableau 7 : les chiffres de la production d'huile de palme et de biodiesel (source : Fedebiocombustibles, 2014)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Superficie plantée en production (ha)	221 266	234 349	250 662	266 992	299 953	-
Superficie plantée en développement (ha)	115 690	126 188	153 022	160 375	152 482	-
Production d'huile brute de palme (tonnes)	775 500	801 000	846 000	942 000	973 000	-
Rendement moyen (en tonne d'huile/ha)	3,51	3,41	3	3,52	3,24	
Production de biodiesel (tonnes)	-	169 411	337 713	443 037	489 991	503 337

Tout comme le secteur de la canne à sucre, celui du palmier à huile est très structuré, et compte sur Fedepalma, la fédération de producteurs d'huile de palme, Cenipalma le centre de recherche du palmier à huile ainsi que sur Acepalma une structure qui appuie la commercialisation internationale (Martinez 2013). Le secteur du palmier à huile intègre cependant plus largement l'agriculture familiale et les petits producteurs grâce à l'existence d'un modèle inclusif de filière. Ce modèle consiste à contractualiser l'approvisionnement avec des associations de producteurs, appelées

Alliances stratégiques et productives, où l'approvisionnement est soumis à une contractualisation de 25 ans avec les producteurs réunis en association. Ils sont également actionnaires de l'usine d'extraction d'huile de palme, au prorata de la superficie de leurs plantations. L'entreprise quant à elle fournit conseils techniques, intrants, une partie des frais de transport et du crédit pour la création des plantations, ce dernier étant soumis à une caution solidaire entre les membres de l'association de producteurs.

Ainsi, 18 % des plantations de palmiers à huile sont détenus par des producteurs qui possèdent 1 à 20 ha, 13% possèdent 20 ha à 200 ha et 67 % possèdent plus de 200 ha (Fedepalma 2013). Dans la dernière décennie, ¼ de chaque nouvel hectare de palmiers à huile correspond à un modèle d'alliance stratégique avec de petits producteurs. En 2012, il existait 126 alliances qui comptaient un total de 6 000 producteurs sur plus de 70 000 ha (Martinez 2013).

Le maillon de la transformation agro-industrielle est constitué de 58 usines d'extraction de l'huile de palme. La capacité nationale d'extraction en 2012 est de 1 374 tonnes de régime frais/heure.

Parmi ces unités agro-industrielles, 5 produisent également du biodiesel. Elles sont localisées dans 5 départements différents et regroupent les 3 zones bioclimatiques précédemment décrites (Caraïbes, Andines, Orinoquía). Il s'agit des entreprises suivantes : Oléoflores, Biocombustibles Sostenibles del Caribe, Ecodiesel Colombia, Bio D, Aceite Manuelita. La capacité totale de production de biodiesel est de 506 000 tonnes/an sur une superficie de 112 443 ha de plantations. Il existe trois autres unités agro-industrielles de production de biodiesel, Biocastilla, Biodiesel de la Costa, Romil de la Costa y Odin Energy, mais qui produisent de façon discontinue et en faibles quantités, faute d'approvisionnement.

Tableau 8 : les producteurs de biodiesel (à partir de Fedebiocombustibles 2014)

	Capacité de production de biodiesel	Superficie des plantations de palmiers (ha)*
Biocombustibles Sostenibles del Caribe	100 000	29 240
Oleoflores	60 000	17 544
BioD	120 000	36 810
Ecodiesel de Colombia	120 000	36 810
Aceites Manuelita	120 000	36 810
Total	520 000	157 214

**A partir des données du système d'information géographique du secteur palmier (SISPA)*

Parmi les entreprises agro-industrielles productrices de biodiesel, Oleoflores a été la première à mettre en œuvre un modèle inclusif de production par les alliances stratégiques. Son gérant, Carlos Murgas, ancien Ministre de l'Agriculture, a développé ce modèle et a intégré les producteurs au capital de l'usine d'extraction. Aujourd'hui 280 petits producteurs associés en 38 assurent environ 80 % de l'approvisionnement. Oleoflores compte également sur des plantations propres de 4 000 ha.

Une partie de l'huile de palme obtenue est vendue pour le marché alimentaire (dont l'exportation), l'autre (80 % environ) est transformée en biodiesel. La production de biodiesel est de 60 000t/an.

Aceite Manuelita présente un autre modèle d'organisation, inspiré de ses expériences avec les caniculateurs de la Vallée de la Cauca. Située dans les Plaines orientales, l'entreprise compte sur un approvisionnement contractualisé avec 55 moyens et grands producteurs indépendants sur une superficie totale de 16 400 ha. La superficie moyenne est de 240 ha/producteur, en excluant du calcul deux grands producteurs possédants 1 800 ha chacun. L'entreprise compte également sur 6 400 ha de plantations propres. La production d'huile brute est de 75 000t/an, complétée par l'achat de 45 000 tonnes d'huile brute produite par les autres unités d'extractions de la zone. La production de biodiesel s'élève à 120 000t/an ce qui en fait l'une des plus grandes unités de production du pays.

A l'inverse des autres unités de production de biodiesel en Colombie, BioD est localisée à proximité des distributeurs de carburants, dans une zone franche à Facatativa, près de Bogota. A l'origine ce sont 12 grands producteurs d'huile de palme, situés dans les Plaines orientales, qui se sont regroupés pour produire du biodiesel, face aux difficultés d'exporter l'huile alimentaire. Les étapes d'extraction de l'huile et de production du biodiesel sont distinctes : l'extraction est effectuée par 8 unités d'extraction d'huile situées dans les Plaines orientales sur une superficie estimée à 38 000 ha. Ces unités d'extraction possèdent des plantations propres et s'approvisionnent à hauteur de 15% chez des producteurs. Elles livrent ensuite l'huile brute à BioD dont elles sont actionnaires. BioD produit 115 000t de biodiesel par an et devrait augmenter avec la construction d'une nouvelle unité de production de biodiesel.

5.2.3. La co-génération

Comme mentionné précédemment, la plupart des distilleries de canne à sucre co-génèrent leur énergie à partir des bagasses ce qui leur permet d'être autonomes en électricité. En 2011, la production d'électricité des 12 usines sucrières du pays atteint 201 MW, avec la vente de 53 MW au réseau national (Rueda 2012).

Pour les unités de production de biodiesel à partir de palmier à huile, la cogénération est encore très peu pratiquée (Rueda 2012). Selon les experts de Fedepalma, cela s'explique tout d'abord par une plus faible capacité d'investissement dans les usines d'huile de palme par rapport à celles du secteur sucrier. Le coût d'investissement pour un système de cogénération est évalué à 8 à 10 millions COP pour une capacité de production de 5 MWh. Actuellement seules 15 usines de production d'huile de palme sur les 60 que compte la Colombie possèdent une turbine pour générer leur propre électricité. La plupart de ces usines se situent dans des zones non connectées au réseau national d'électricité. Dans ces zones, la qualité et l'irrégularité de la fourniture de l'électricité produite dans de petites centrales électriques fonctionnant au diesel, ne permettent pas le bon fonctionnement de l'usine. De plus, le prix de l'électricité y est beaucoup plus élevé et atteint 400 à 800 COP/kWh alors qu'il est de 300 à 350 kWh dans les zones connectées (comm. Fedepalma 2014).

Ces huileries de palme et leurs unités de production de biodiesel valorisent tout de même certains co-produits comme les coques de palmiste pour alimenter les chaudières nécessaires à la stérilisation des régimes. Les rafles (25 % du poids des régimes, avec 65 % d'humidité (Noël 2007)) et les cendres des chaudières sont valorisées en compost, répandu ensuite sur les plantations de l'entreprise, comme c'est le cas pour Oleoflores ou Aceite Manuelita. La production de compost équivaut à un peu plus de 50% de la quantité de rafles, par exemple Aceite Manuelita valorise 40 000t de rafles qui fournissent 22 000t de compost par an. Cette dernière produit également du biogaz (méthane) à partir des boues issues des effluents de l'huilerie. L'objectif est de substituer 1,4 MWh/an. Les responsables de l'usine estiment que 32m³ de boues sont produites par tonne de fruit.

Cette production de biogaz s'insère dans un projet de Mécanisme de développement propre (MDP), approuvé par les Nations Unies en 2009. L'objectif est de cogénérer de l'énergie à partir du biogaz produit par 32 huileries de palme partenaires et de vendre les excédents au réseau national.

La valorisation énergétique des troncs des plantations rénovées ou des palmes coupées lors des récoltes, n'a pas été mentionnée par les experts et gérants des plantations. Les branches sont généralement laissées sur la plantation pour permettre la couverture du sol et limiter les phénomènes d'érosion.

5.3. Les systèmes de production potentiels de biocarburants

Excepté les résidus de récoltes dont les potentiels ont été évalués dans l'étude de l'UPME (2011), d'autres cultures et filières peuvent être envisagées pour la production de biocarburants : il s'agit du manioc, du sorgho sucrier et de la filière de la canne à sucre.

5.3.1. Le manioc

Le manioc, tubercule riche en amidon, est un produit de grande importance dans l'alimentation des colombiens. En 2012, le pays est le deuxième producteur de manioc sur le continent américain (derrière le Brésil) et occupe le 22^e rang à l'échelle mondiale (FAOStat 2014). Le secteur a pourtant un faible poids dans l'économie, avec 1,5% du PIB agricole et 0,08% du PIB national (Minagricultura 2010).

Actuellement le manioc est principalement consommé sur le marché national et n'est pas considéré comme un produit d'exportation. Il peut être destiné à :

- l'alimentation humaine : les tubercules sont consommés frais ou séchés puis transformés en farine. L'amidon peut également être utilisé dans l'industrie agro-alimentaire.
- l'alimentation animale : les feuilles et les tubercules peuvent être distribués au bétail.
- l'industrie non alimentaire : l'amidon est utilisé dans de multiples secteurs industriels : colles industrielles, papeterie, agglutinants dans les scieries, insecticides, cosmétiques, textiles, etc.
- biocarburants : l'amidon peut être transformé en bioéthanol après hydrolyse, permettant d'extraire les sucres, qui sont ensuite fermentés.

La production nationale est de 1,6 million de tonnes sur une superficie de 154 000 ha (CIAT 2013). Le manioc sucré joue un rôle primordial pour la sécurité alimentaire. Son rendement moyen est de 7 à 12t/ha et génère environ 3,5 emplois/ha (Gobernación del Atlántico 2012). Sur l'ensemble de la superficie semée en manioc, 26 000 ha correspondent à une variété amère, utilisée pour la production d'amidon, également propice à la production de bioéthanol (SENA 2013). Les rendements obtenus sont plus importants, du fait de la sélection variétale (Corpocia Thaï fournie par le CIAT) et des moyens de production plus conséquents, ce qui permet d'atteindre 20 à 28 t/ha (Almidón de Sucre, 2014). Certaines variétés de manioc amer peuvent ainsi produire jusqu'à 7 000 l d'éthanol/ha/an, ce qui est proche des 9 000 l obtenus à partir de la canne à sucre.

La filière du manioc est assez peu structurée. Récemment s'est constituée la Fédération colombienne du manioc (Colfeyuca) en 2012 et a concentré ses activités dans le département de Sucre. Le CIAT mène des activités de recherche sur les modèles de production et réalise de la sélection variétale. Enfin, le Consortium latino-américain des Caraïbes et d'appui au développement du manioc (Clayuca), constitué d'alliances stratégiques entre entités publiques et privées, permet un partage d'expériences et d'informations techniques (Gallego Castillo 2009). Ce consortium travaille actuellement sur la génération d'énergie dans les zones non connectées au réseau national d'électricité, à partir de biomasse sucrée (manioc, sorgho sucré, patate douce). Ce modèle, basé sur la production et l'usage local de la biomasse, est désigné sous le terme de Bioraffinerie rurale et

sociale (BIRUS) avec pour objectif de produire 400 à 500 litres de bioéthanol anhydre par jour et par plate-forme de production (CIAT 2009). Cependant, ces bioraffineries n'ont pas été mises en œuvre à ce jour (comm. Clayuca, 2014).

En 2013, l'Etat a initié un « plan national sur le manioc industriel » dont l'objectif est l'amélioration des revenus et des conditions de vie des producteurs de manioc par l'adoption de paquets technologiques et l'accès facilité aux crédits (FAO 2013). Actuellement ce plan n'a pas encore été mis en œuvre.

Trois tentatives de production d'éthanol à partir de manioc ont été initiées mais n'ont pas été menées à termes.

- Les bioraffineries rurales et sociales n'ont pas encore été mises en œuvre faute de financement. Le prototype installé au CIAT n'est plus en état de fonctionnement mais devrait être utilisé comme plate-forme de démonstration et de formation (comm. Clayuca 2014).
- Le groupe Cantagallo a entrepris une production de manioc pour la production d'éthanol, avec l'appui du CIAT pour le choix des variétés. Les rendements obtenus seraient bien en deçà des estimations et le projet serait arrêté.
- Enfin, l'Etat a impulsé la création d'une unité de transformation de l'amidon appelée Almidón de Sucre, à partir d'un fonds de capital-risque de la Banque Finagro (Banque nationale), avec pour objectif de produire de l'éthanol. Les objectifs de production ont rapidement évolué et l'unité se concentre aujourd'hui sur la production d'amidon, à raison de 50t par jour pendant 6 mois de l'année (comm. Almidón de Sucre, 2014).

La production d'éthanol à partir de manioc a été écartée par les gérants de cette dernière entreprise pour plusieurs raisons :

- La faible efficacité énergétique du processus qui augmente le coût de production. Les gérants estiment que 7 kg de manioc sont nécessaires pour produire 1 l d'éthanol. Entant donné le coût d'achat du manioc à 200 COP/kg (soit 1400 COP de matière première par litre d'éthanol), la forte consommation de vapeur (10 kg de vapeur par litre de bioéthanol, actuellement produite à partir de charbon), le coût de production se rapprocherait voir dépasserait le prix de vente actuel de l'éthanol, à 1 634 COP/l en juillet 2014.
- La co-génération d'énergie à partir des fibres (issues des étapes de pressage du manioc) de manioc n'est pas envisagée, du fait de sa composition non cellulosique qui limite son hydrolyse (à l'inverse de la bagasse de la canne, de composition ligno-cellulosique) et de son taux d'humidité très élevé (85%). Les fibres sont donc vendues pour l'alimentation animale (à 30 COP/kg, sachant qu'une tonne de manioc en produit 500 kg).
- La forte concurrence avec l'éthanol issu de canne à sucre produit dans la Vallée de la Cauca, où les niveaux de production et l'efficacité du processus sont très performants. La régulation des prix par le gouvernement s'effectue sur la base de ces coûts de production.

5.3.2. Le sorgho sucrier

Le sorgho (*Sorghum bicolor*) est une culture éligible à la production de biocarburants. Elle est réalisée à partir de variétés de sorgho sucré qui produisent à la fois des graines pour l'alimentation humaine ou animale et de la biomasse lignocellulosique à forte teneur en sucre qui peut être utilisé pour la produire du bioéthanol (IICA 2010).

Cette culture a été fortement développée entre les années 1960 et 1980. En 1982, la superficie de sorgho atteint 299 700 ha et est principalement destinée à l'alimentation des élevages avicoles. Mais l'ouverture économique du pays à partir des années 1990 a provoqué la quasi disparition de cette culture, substituée par les importations de maïs jaune (Fenalce 2010). En 2013, la superficie de sorgho n'est plus que de 3 010 ha.

Les producteurs actuels de sorgho n'ont pas de représentation spécifique et sont aujourd'hui intégrés dans la Fédération nationale des producteurs de céréales (Fenalce).

Selon la Fenalce, l'intérêt de la culture du sorgho sucré réside dans sa forte production de biomasse (20 à 50 tonnes de matières sèches par hectare), ainsi que les multiples usages de la graine et de la tige. Des travaux de recherche sont en cours depuis 2010, menés par COPPOICA en collaboration avec le CIAT, le CIRAD et la FENALCE pour la production de bioéthanol. Au niveau agricole, le matériel utilisé pour la récolte est adapté à partir de ceux utilisés pour la canne à sucre. Des essais de production de bioéthanol ont été menés dans les usines de la société INCAUCA dans la Vallée de la Cauca (CORPOICA 2010).

5.3.3. La panela

La panela est un produit issu de la transformation artisanale de la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) (Osorio Cadavid 2007). Le processus consiste à cuire le jus de canne à haute température, afin d'évaporer l'eau et d'obtenir une mélasse, qui est ensuite disposée dans des bacs en bois et laissée à durcir. Ce produit est très important dans l'alimentation des Colombiens qui sont les seconds producteurs et premiers consommateurs au monde avec 34,7 kg/personne (Orjuela et al. 2011). La production agricole est assurée par de petits producteurs, principalement dans les zones montagneuses du pays avec très peu de mécanisation et une main d'œuvre majoritairement familiale (Portafolio 2013). La culture est présente dans 27 départements du pays, concentrée dans la Boyacá, Santander, Valle, Huila et Nariño sur un total de 240 000 ha (Fedepanela 2011). Le nombre de producteurs est estimé à 70 000, ce qui amène la surface moyenne à 3,42 ha/producteur et souligne l'importance de l'agriculture familiale dans ce secteur. Il existe plus de 20 000 transformateurs qui produisent près de 1,3 M tonnes par an, ce qui représente 7% du PIB agricole. Cette activité de transformation est le premier pourvoyeur d'emploi en milieu rural avec 350 000 emplois directs (Corpoica 2010) et 1 750 000 emplois indirects en considérant les intermédiaires et le réseau de commercialisation (El País 2013).

Les rendements agricoles sont beaucoup plus faibles que ceux de la canne à sucre obtenus dans la Vallée de la Cauca, du fait des variétés utilisées, des itinéraires techniques et des moyens de productions qui sont sans commune mesure. Le rendement moyen est de l'ordre de 6,3 tonnes de panela/ha¹⁸ (Orjuela et al. 2011), soit 50 tonnes de canne par hectare selon les enquêtes réalisées. Les plantations ne sont pas renouvelées fréquemment, certaines atteignent 70 ans. Les cultures sont peu fertilisées, le transport de la récolte s'effectue à l'aide de petits véhicules, à dos de chevaux ou d'âne ou de façon manuelle.

La transformation est principalement effectuée par les producteurs eux-mêmes dans des moulins appartenant ou loués par des producteurs, ou encore dans des moulins coopératifs ou associatifs. Selon les moulins, la capacité de pressage peut aller de 50 à 300 kg de panela/h (Castellanos Domínguez, Torres Piñeros, and Hernando Flórez 2010). Ces unités artisanales font face à de grandes difficultés, tant sur la qualité sanitaire du produit que sur les coûts de production. L'efficacité énergétique est très faible, les bagasses sont brûlées afin de cuire le jus de canne, mais les foyers sont généralement ouverts. Un système de chauffage contrôlé à base vapeur à partir d'un

¹⁸ Pour comparaison, la canne à sucre produit en moyenne 12 tonnes de sucre par hectare.

générateur électrique est en cours d'expérimentation par le SENA (Institut public de formation agro-industrielle) de Villeta et permettrait de limiter les pertes énergétiques lors de la cuisson, sans pour autant valoriser les bagasses.

Il existe cependant quelques grands producteurs (plus de 50 ha) qui représentent 5% de la production totale de panela et qui se situent dans la Vallée de la Cauca et de Risaralda. Ces derniers produisent et transforment 20 000 à 30 000 kg de panela/an et disposent de moulins d'une capacité moyenne de 300 kg de panela par heure (Castellanos Domínguez, Torres Piñeros, and Hernando Flórez 2010).

La commercialisation est réalisée par un réseau de grossistes et intermédiaires et la panela est ensuite vendue dans les supermarchés, boutiques et marchés dans l'ensemble du pays. Les exportations sont faibles et ne s'élèvent qu'à 3 000 tonnes de panela/an acheminées aux Etats-Unis, en Espagne, Italie et au Venezuela (Vanguardia 2010).

Le secteur est soutenu par Fedepanela, la fédération des producteurs de panela, créée en 1976 dont le principal rôle est d'aider à l'exportation. Les producteurs sont représentés par Asopanela. Bien qu'il existe un centre de recherche sur la canne panela (CIMPA), ces activités sont plutôt raccordées à celles de Cenicaña.

Face au manque de rentabilité de certaines unités de transformation et aux difficultés de commercialisation (panela importée illégalement et de moins bonne qualité), la Fedepanela souhaite accompagner un processus de restructuration de la filière, en passant de 20 000 moulins à 3 500. Cette restructuration vise à organiser davantage la filière et à améliorer l'efficacité et la rentabilité des moulins.

Actuellement cette filière se concentre sur un unique débouché alimentaire et ne participe pas à la filière bioéthanol.

6. Méthode d'évaluation des potentiels

6.1. Les scénarios de production de biocarburants envisagés

A partir des cinq cultures et filières décrites précédemment, des scénarios de production de biocarburants ont été construits. Ces scénarios sont soumis à un même contexte qui présente certains risques ou opportunités.

Tout d'abord, la principale menace concerne la politique économique très libérale du pays qui favorise la volatilité des prix et affecte les conditions d'offre et de demande locale, notamment sur les produits agricoles. De plus, la variation du taux de change entre le peso colombien et le dollar peut affecter des scénarios de production dans lesquels l'importation de consommations intermédiaires (intrants, équipement agricole) payées en dollars est importante.

Au niveau du contexte foncier, les Unités Agricoles Familiales (loi 041 de 1996) peuvent venir contraindre le développement de scénarios basés sur l'acquisition de grandes superficies. Cette loi vise à redistribuer la terre de façon équitable aux paysans mais également aux victimes du conflit armé depuis les derniers accords de paix (2014). Cependant, le Plan national de développement 2010-2014 incite à la création de projets de développement agricole permettant de générer de l'emploi en zone rurale et autorise à dépasser jusqu'à 10 fois les UAF. Ce contexte légal crée un climat d'incertitude pour les investisseurs qui ne peuvent pas être certains de pouvoir acheter de grandes superficies foncières. Pour les scénarios de production de biocarburants, nous considérerons la possibilité pour des entreprises d'obtenir une superficie maximale de 9 000 ha.

Par ailleurs, la loi 1715/2014 peut apparaître comme une opportunité pour l'ensemble du secteur des biocarburants. Elle offre la possibilité pour les unités de production agro-industrielles de vendre l'électricité au réseau national ou de substituer l'utilisation du gasoil dans les zones non connectées au réseau national, y compris avec des technologies hybrides. Bien que cette loi présente une incitation importante pour les bioénergies dans le pays (Name 2014), le manque de clarté sur son application limite les investissements. Tout l'abord cette loi n'est pas encore réglementée et les modalités d'achat de l'électricité produite à partir de ressources non conventionnelles ne sont pas établies. Le prix de l'électricité est actuellement fixé par le Marché de gros de l'énergie¹⁹, où producteurs et distributeurs publics privés et mixtes achètent et vendent l'énergie dans un cadre réglementé (XM 2014). La loi de 2014 ne comporte pas de garanties sur les volumes et prix minimum d'achat aux futurs producteurs d'électricité à partir d'énergies non conventionnelles.

Enfin, dans un contexte où la politique générale du pays est guidée par l'évolution du conflit armé et où l'insécurité est encore forte dans certaines zones du pays, la viabilité de certains scénarios peut en être affectée.

De plus, les scénarios ne prennent pas compte de la survenue d'éléments conjoncturels qui peuvent modifier l'analyse et constituer de nouvelles opportunités ou menaces.

¹⁹ Mercado de Energía Mayorista

6.1.1. Les scénarios retenus

A partir d'une analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces de chaque filière, des discussions avec le bureau d'études NES-Natureza, puis une mission de terrain de 3 semaines permettant de questionner les experts et acteurs du secteur, deux scénarios de production de biocarburants ont été construits. Le premier concerne la production de biodiesel à partir de palmier à huile. Le second scénario concerne la production de bioéthanol à partir de canne à sucre, produit en dehors de la Vallée de la Cauca et avec d'autres types d'acteurs.

6.1.1.1. Scénario 1 : Production de biodiesel à partir de palmier à huile

La principale force de la filière biodiesel à partir de palmier à huile est sa forte productivité et son efficacité énergétique. Elle repose également sur un réseau d'acteurs structuré et diversifié : des producteurs du type familial au type entrepreneurs industriels, un centre de recherche reconnu et une fédération très active. La production de biodiesel est déjà effective et progresse rapidement depuis 2005. L'intégration des petits producteurs dans les alliances productives est une forme d'organisation originale et un gage de durabilité sociale.

La principale menace qui pèse sur cette filière est un problème phytosanitaire avec la maladie de la pourriture au cœur dont les moyens de lutte sont encore peu identifiés.

Tableau 9 : SWOT de la filière palmier à huile pour la production de biodiesel

FORCES :	FAIBLESSES :
<ul style="list-style-type: none">• Forte productivité : 5 500 l biodiesel/ha/an• Forte efficacité énergétique (6,6)• Filière fortement structurée• Centre de recherche reconnu• Existence de standards de durabilité (RSPO)• Intégration des producteurs dans des modèles de production inclusifs (Alliances)• 6 unités de production de biodiesel• Répartition spatiale plus importante	<ul style="list-style-type: none">• Coûts de production supérieurs aux autres pays producteurs d'huile de palme• Commercialisation en concurrence avec les importations illégales d'huiles (30% huiles en Colombie)• Expansion « désorganisée » des superficies par les petits producteurs
OPPORTUNITES :	MENACES :
<ul style="list-style-type: none">• Potentiel d'expansion estimé à 4 millions ha (Orinoquia, Amazonie, Antioquia, Magdalena et Cordoba) (EMPA 2011).• Augmentation du taux d'incorporation• Génération d'électricité dans les zones non connectées• Co-génération possible avec les régimes (peu pratiquée) et vente des excès au réseau national d'électricité	<ul style="list-style-type: none">• Maladie de la pourriture au cœur (Pdc) qui a affecté 100 000 ha en 2013• Forts risques sociaux et de sécurité dans certaines zones• Existence de contrebande d'huile de palme• Son expansion dans certaines zones pourrait affecter les écosystèmes (forte biodiversité Orinoquia)

Le modèle socio-technique du palmier, schématisé fig. 3, intègre le modèle des alliances stratégiques de producteurs. Il se base sur une unité de production d'une capacité de 110 000 tonnes de biodiesel par an (Figure 3). L'approvisionnement est assuré à 30% par une plantation intégrée de l'entreprise et à 70% par des producteurs contractuels. La plantation propre de l'entreprise présente un rendement de 20t de fruits/ha, ce qui amène la superficie nécessaire à 8 000 ha, ce qui correspond aux dimensions actuellement gérées par les entreprises du secteur. Afin de respecter des principes de durabilité, une surface de 15% supplémentaire a été ajoutée afin de préserver une zone de conservation de l'environnement et des espaces dédiés aux infrastructures (voir 4.2.2), ce qui amène l'ensemble du bloc industriel à 9 200 ha.

La partie de la production assurée par les producteurs s'effectue sur des plantations de 10 ha environ sur une surface d'exploitation agricole de 16 ha (+ 60%). Le nombre de producteurs, réunis en alliance, s'élève au maximum à 2 300. La distance maximale d'approvisionnement est fixée à 60 km, ce qui correspond à l'organisation spatiale des plantations actuelles permettant de couvrir la distance en une journée et avec un véhicule motorisé.

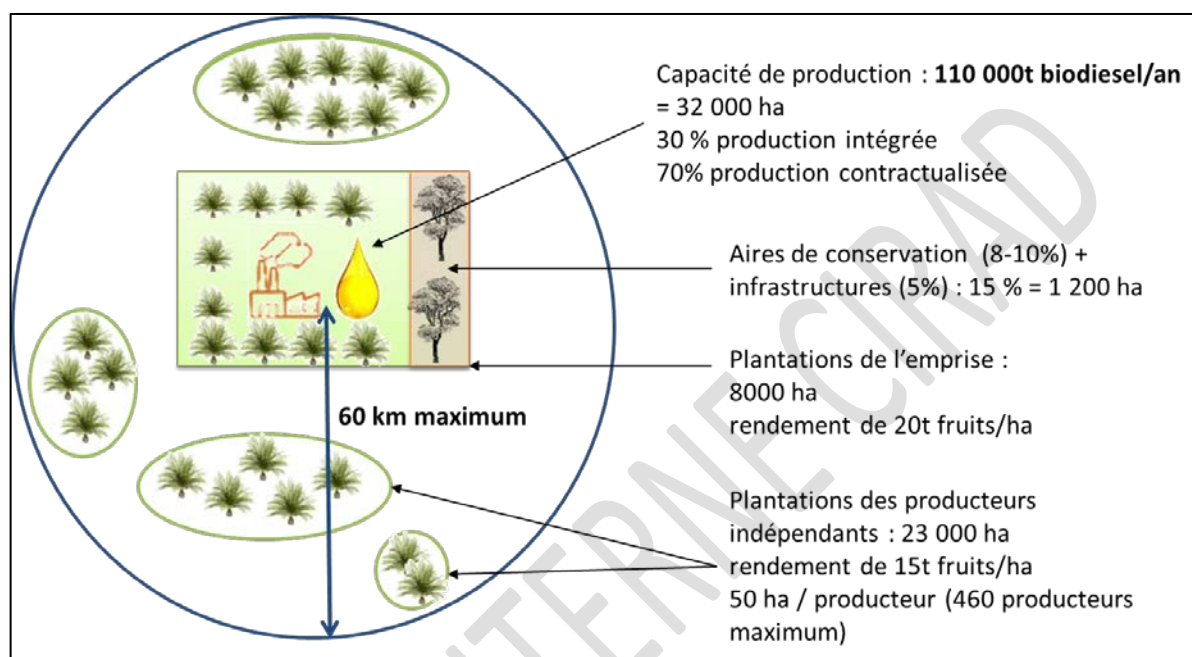


Figure 3 : modèle socio-technique du scénario 1

6.1.1.2. Scénario 2 : Production de bioéthanol à partir de canne à sucre, nouvelles aires et nouveaux acteurs

La filière du bioéthanol à partir de canne à sucre s'appuie sur une technologie déjà éprouvée depuis 2001 et sur des volumes de production conséquents permettant une incorporation nationale de 8 à 10% aux carburants. La filière est également très structurée et compte sur une fédération et un centre de recherche très performants. Cependant, cette filière est géographiquement concentrée dans la Vallée de la Cauca, où il ne semble pas possible d'étendre les superficies de canne à sucre. Les industriels du secteur ne sont pas intéressés actuellement pour s'installer en dehors de cette Vallée. La principale faiblesse d'une telle localisation est le manque de références techniques au niveau de la production agricole. Les premiers essais montrent que des rendements de 70t/ha sont cependant réalisables, ce qui est comparable aux rendements obtenus au Brésil dans le Cerrado. La difficulté d'acquisition de grandes superficies avec l'application de la loi sur les UAF, ainsi qu'un climat de vives contestations sociales, limite la mise en œuvre de modèles exclusivement industriels et identiques à ceux développés dans la Vallée de la Cauca.

Tableau 10 : SWOT de la filière canne à sucre pour la production de bioéthanol

FORCES :	FAIBLESSES :
<ul style="list-style-type: none"> • Forte productivité : 9 000 l éthanol/ha/an • Récolte toute l'année (vallée de la Cauca) • Forte efficacité énergétique • Existence d'un cluster (réseau d'entreprises qui utilisent produits ou sous-produits, centre de recherche, etc.) • Filière fortement structurée • Centre de recherche reconnu • 5 distilleries qui produisent de l'éthanol • Existence de standards de durabilité (BonSucro) • Co-génération d'énergie et vente des excès au réseau national d'électricité 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentration de la production dans la vallée de la Cauca • Pas de « paquet technologique » développé en dehors de cette vallée • Agro-industrie concentrée dans quelques grandes distilleries • Pas d'extension des superficies de culture ces dernières décennies • Pas de modèle inclusif déjà existant • Echec du projet de la distillerie de la Orinoquia (Riopaila) suite à des problèmes fonciers (UAF).
OPPORTUNITES :	MENACES :
<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel d'expansion estimé à 5 millions ha (Orinoquia et Caribe) (EMPA 2011). • Augmentation du taux d'incorporation 	<ul style="list-style-type: none"> • Conflits sociaux et de sécurité dans certaines zones de production • Déficit hydrique dans les zones considérées • Taux de change variable entre peso et dollar

Le modèle socio-technique de la canne schématisé fig. 4, se base sur une production de bioéthanol de 325 000 l d'éthanol par jour. En comptabilisant un rendement de 75 l d'éthanol par tonne de canne, 22 600 ha sont alors nécessaires pour approvisionner l'unité de transformation. En s'inspirant des modèles basés sur des producteurs contractuels dans le secteur de l'huile de palme, la répartition des approvisionnements entre plantation industrielle et familiale a été maintenue à 30% et 70% respectivement. Les mêmes règles de durabilité sont appliquées sur la plantation industrielle concernant les espaces de conservation et d'infrastructures, ce qui porte à 7 705 ha la surface totale du complexe industriel. Les planteurs sous contrat d'approvisionnement possèdent des plantations d'une superficie de 50 ha, sur une exploitation de 80 ha (+60%), ce qui représente la surface maximale pour une unité familiale capable d'embaucher environ 7 ouvriers agricoles. Les distances maximales d'approvisionnement ont été maintenues à 60 km.

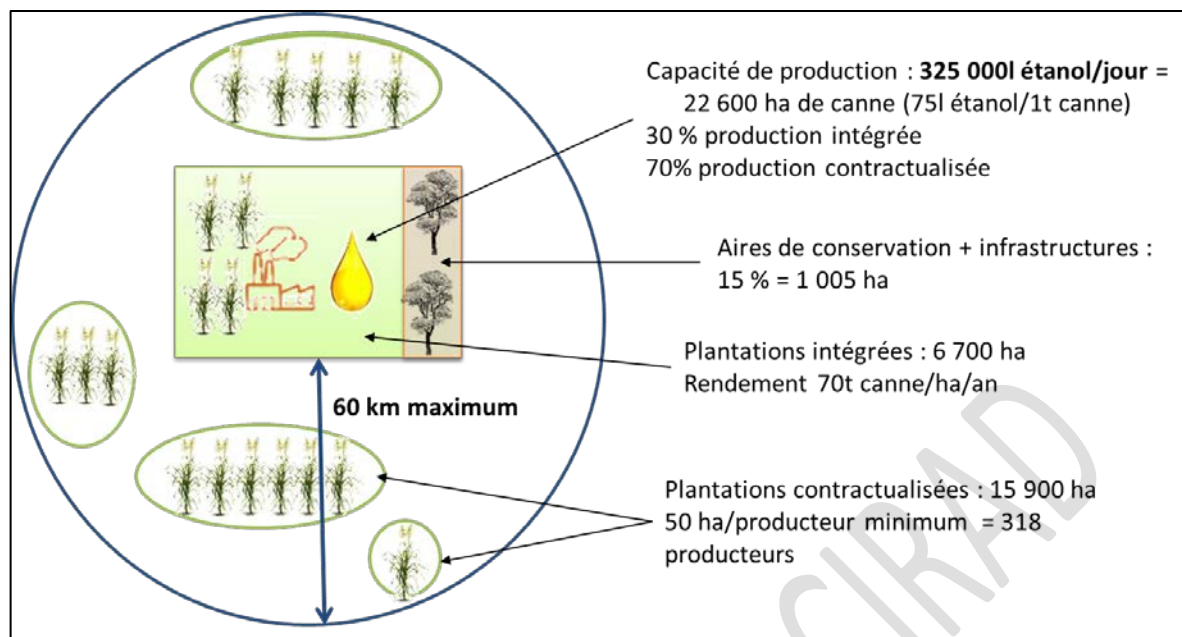


Figure 4 : modèle socio-technique du scénario 2

6.1.2. Les scénarios écartés

Les scénarios de production de bioéthanol à partir de manioc, de sorgho sucrier ou de canne panela ont été écartés, principalement par manque de références techniques et d'acteurs déjà implantés dans ces filières.

6.1.2.1. Le manioc

Le scénario de production de bioéthanol à partir de manioc a été écarté du fait de l'absence de références techniques et d'expérimentations abouties sur la production énergétique en Colombie. Cependant, il faut signaler que d'autres pays comme la Thaïlande, grand producteur de manioc, ont basé une grande partie de leurs objectifs de production de bioénergie sur le manioc.

Par ailleurs, l'importance du manioc dans l'alimentation humaine mais aussi animale constitue une compétition probable sur les ressources productives qu'il serait nécessaire d'analyser plus précisément (voir tableau suivant).

Tableau 11 : SWOT de la filière manioc pour la production de bioéthanol

FORCES :	FAIBLESSES :
<ul style="list-style-type: none"> • Productivité : 4 500 l éthanol/ha/an • Résistance aux déficits hydriques , s'adapte à différents types de sols/régions • Grande diversité de variétés • Possibilité de stockage des tubercules • Fort demandeur en main d'oeuvre (3,5 homme/j/ha) • Savoir-faire existant pour la production • Ancré dans l'économie familiale agricole, produite par petits et moyens producteurs • Activités de recherche sur la transformation alimentaire (CIAT) • Superficies actuelles manioc sucré = 138 000 ha ; manioc amer = 26 000 ha 	<ul style="list-style-type: none"> • Production saisonnée • Faible efficacité énergétique (1,2) • Peu de références techniques (variétés appropriées et transformation en d'éthanol) • Forte demande pour la consommation nationale, importance pour la sécurité alimentaire • Peu de soutien politique pour un débouché énergétique • Structuration récente, faible visibilité • 3 projets de production de bioéthanol ont échoué (faible technique, financières),
OPPORTUNITES :	MENACES :
<ul style="list-style-type: none"> • Marché alimentation humaine, animale, frais ou sec ou non alimentaire (amidon) • Volonté politique pour la structuration de la filière (<i>Plan nacional de Yuca Industrial</i> 2013; crédits, paquets technologiques). • 2 projets en cours (1/ Bioraфинeria Sociales Rurales avec Clayuca, 2/ Cantagallo et CIAT dans la Méta, capacité de 2000l/jour) 	<ul style="list-style-type: none"> • Produit substituable dans l'alimentation par la pomme de terre (opportunités) • Réticences probables de la population • Forts risques sociaux et de sécurité dans certaines zones de production

6.1.2.2. Le sorgho sucrier

Le sorgho sucrier n'a pas été retenu comme culture d'intérêt pour la production de biocarburants. La quasi absence de production agricole est le principal facteur de faiblesse de ce scénario, ce qui limite l'identification d'acteurs de la production et ne permet pas de se baser sur des connaissances agronomiques partagées. L'absence de références techniques pour une valorisation énergétique est également une grande faiblesse.

Tableau 12 : SWOT de la filière du sorgho sucrier pour la production de bioéthanol

FORCES :	FAIBLESSES :
<ul style="list-style-type: none"> • Productivité : 4 400 l éthanol/ha/an • Efficacité énergétique supérieure au manioc (2,9) • Peu de besoin en eau, comparé à d'autres céréales, s'adapte à différentes régions • N'est pas un produit essentiel pour la sécurité alimentaire du pays 	<ul style="list-style-type: none"> • Chute des superficies semées de 300 000 ha en 1982 à 3 000 ha en 2013 • Peu de références techniques (variétés appropriées et transformation en d'éthanol) • Pas de centre de recherche spécifique, dépend d'organisation comme Corpoica • Pas de structuration de la filière, intégré à <i>Federación Nacional de Cultivadores de Cereales</i> – (Fenalce)
OPPORTUNITES :	MENACES :
<ul style="list-style-type: none"> • Usages multiples de la plante • Marché alimentation humaine, animale • Expérimentation en cours avec CORPOICA en collaboration avec CIAT, CIRAD et FENALCE (construction d'un référentiel technique). 	<ul style="list-style-type: none"> • Débouché pour les graines : peu compétitif par rapport aux importations de maïs pour l'alimentation animale

6.1.2.3. La canne panela

La canne panela n'a pas été retenue dans le scénario de production, principalement du fait de l'importance de cette filière dans l'alimentation et de son rôle culturel et social qui occupe de nombreux producteurs, transformateurs et intermédiaires. Bien que cette filière alimentaire ne soit pas très efficace (les rendements agricoles diminuent fortement, les revenus agricoles dégagés sont faibles, de nombreux transformateurs produisent à perte, la qualité sanitaire de la panela est non maîtrisée), les acteurs de cette filière ne souhaitent pas sa restructuration ni son orientation vers un débouché énergétique. De plus, la dispersion spatiale de la production, localisée dans des zones aux forts reliefs, limite la rentabilité de la transformation en bioéthanol centralisée et à volumes conséquents, du fait de coûts logistiques jugés trop importants. Pour ces mêmes raisons, ce scénario de production a d'ailleurs été écarté par d'autres bureaux d'études et sociétés colombiennes (Ecopetrol et SWCOL).

Tableau 13 : SWOT de la filière de la panela pour la production de bioéthanol

FORCES :	FAIBLESSES :
<ul style="list-style-type: none"> • Forte productivité : 5 000 l éthanol/ha/an • Forte efficacité énergétique (égale à canne à sucre : 8,3) • A la base de l'économie familiale agricole (40 000 producteurs) • Premier pourvoyeur d'emploi en milieu rural (moulins) • Forte répartition de la production dans l'ensemble du pays • Seconde activité agroindustrielle du pays (café 1^{er}), 7% PIB agricole • Petits producteurs organisés en 140 associations de producteurs (3,4 ha en moyenne) (propriétaires ou non de la terre) • Augmentation des superficies • Répartition spatiale plus importante 	<ul style="list-style-type: none"> • Filière peu industrialisée, peu de références techniques • Pas de standards de qualité du produit ou de durabilité • Production atomisée qui souffre de la faible du réseau de transport • Faible structuration, peu d'accès aux financements • Centre de recherche peu développé, dépend de Cenicaña • 2 projets de production de bioéthanol ont échoué (coût de transport, faible mécanisation).
OPPORTUNITES :	MENACES :
<ul style="list-style-type: none"> • Programme national de restructuration de la filière (20 000 à 3500 moulins) • Programme pilote pour l'amélioration de l'efficacité énergétique • Potentiel d'expansion des surfaces 	<ul style="list-style-type: none"> • Production de bioéthanol en compétition avec la production d'alcool alimentaire • Moins compétitive que la production de canne à sucre • Importations illégales de sucre de moins bonne qualité pour la fabrication de panela • Forts risques sociaux et de sécurité dans certaines zones de production

6.2. Une démarche d'évaluation séquentielle des potentiels

La méthode d'évaluation des potentiels de production de biocarburants est issue de travaux de recherche antérieurs menés par le CIRAD en collaboration avec TOTAL et a été approfondie au fur et à mesure des cas d'étude et adaptée au contexte de chaque pays étudié. Dans le cas présent, la méthode s'inspire plus particulièrement de celle menée en République du Congo, mais a été modifiée pour prendre en compte les spécificités du milieu rural colombien et des données récoltées.

La méthode d'évaluation du potentiel de production de biocarburants se base sur 5 niveaux de potentiels successifs :

- Le potentiel théorique : il correspond à l'ensemble des terres dont les conditions de climat, de relief et de pédologie sont naturellement favorables à la croissance des cultures bioénergétiques considérées.
- Le potentiel de terres appropriables : correspond à la part de potentiel théorique que les futurs acteurs de la production pourraient mettre en valeur dans la limite des terres légalement exploitables et en respectant l'environnement. Il prend en compte les espaces que les acteurs peuvent s'approprier selon les règles d'appropriation qui leur sont imposés : droit positif et coutumier, ou qu'ils choisissent de suivre (normes de durabilité ou certifications).
- Le potentiel disponible : correspond à la part maximum du potentiel de terres appropriable non réservé à d'autres usages.
- Le potentiel technique : correspond à la fraction du potentiel disponible que les acteurs peuvent techniquement exploiter selon les modèles agronomiques de production durable qu'ils sont capables de mettre en place.
- Le potentiel de valorisation : correspond à la fraction du potentiel technique que seule une portion d'acteurs serait susceptible de mettre en valeur compte tenu des barrières sociales, culturelles et économiques à l'entrée dans cette nouvelle activité.

6.2.1. Les règles de durabilité

Les règles de durabilité suivies sont celles de la RSPO, principale référence utilisée en Colombie en matière de développement durable des plantations de palmiers à huile (RSPO 2014). La grille a été adaptée au contexte colombien ainsi qu'à la production de canne à sucre (Tableau 13). En effet, la certification BONSUCRO, spécifique de la production de canne à sucre est plus récente. Elle provient du secteur sucrier de 27 pays membres. Cette certification est moins explicite sur les thématiques environnementales et davantage orientée vers l'efficacité économique (Bonsucro 2011). Nous avons donc jugé plus pertinent et plus complet d'adapter la RSPO à la production de bioéthanol.

Tableau 14 : Adaptation des règles de durabilité de la RSPO

Principes RSPO	Lignes directrices de l'évaluation
1. Transparence	<i>(Pas d'impact direct sur les terres disponibles)</i>
2. Respect des lois et règlements	Pas de plantations sur des aires déclarées officiellement comme protégées Prise en compte des politiques actuelles de redistribution des terres en faveur des déplacés Maintien des espaces pour les activités d'élevage ainsi que des espaces dédiés aux activités agricoles familiales
3. Engagement envers la viabilité économique et financière à long terme	Analyse technico-économique permettant d'identifier la taille minimale d'une plantation et de la capacité minimale de production d'une usine de biodiesel (ou de bioéthanol)
4. Utilisation des meilleures pratiques pertinentes par les producteurs et transformateurs	Culture non irriguée, en zone bioclimatique et conditions édaphiques favorables, zones ripariennes protégées.
5. Responsabilité environnementale et conservation des ressources	Pas de plantation sur des forêts naturelles existantes. Etablissement de zones de conservation de 15% des superficies des plantations. Prise en compte de la répartition des espèces menacées et des zones à forte

naturelles et de la biodiversité	valeur de biodiversité.
6. Prise en considération responsable des employés, des particuliers et des communautés affectés par les producteurs et unités de production	<i>(Pas d'impact direct sur les terres disponibles)</i>
7. Développement responsable de nouvelles plantations de végétaux	Les sols impropres à la production et les forêts naturelles sont exclus.

6.2.2. Les hypothèses et données utilisées

- Le potentiel théorique

Les conditions bio-climatiques favorables à la plante ont été identifiées dans la littérature. Les sols impropres sont exclus du potentiel et sont identifiés à partir de la classification des sols réalisée par le GAEZ et spécifique à chaque culture (FAO and IIASA 2000). Ainsi les sols de types S4 (100% défavorables), S5 (50% défavorable et 50% favorable) et S6 (50% défavorable et 50% sub-optimal) sont éliminés. Les données de classification des sols sont celles du projet SOTERLAC 2005²⁰. La pente maximale du sol a été fixée à 12%, ce qui correspond aux limites acceptables de mécanisation et de risques d'érosion. Les données utilisées sont les suivantes :

Tableau 15 : données utilisées pour le calcul du potentiel théorique

	Palmier à huile	Canne à sucre	Sources
Températures moyennes	Entre 20 et 35°C	19 et 35°C	World Clim 2010
Températures minimales mensuelles	supérieures à 18°C	Supérieures à 9°C	World Clim 2010
Températures maximales mensuelle	Inférieures à 35°C	Inférieures à 35°C	World Clim 2010
Précipitations moyennes annuelles	Entre 1 000 et 4 500 mm/an	Entre 1 000 et 4 500 mm/an	World Clim 2010
Sols	Types 1, 2 et 3 de la classification sol-plante du GAEZ	Types 1, 2 et 3 de la classification sol-plante du GAEZ	SOTERLAC 2005, FAO-IIASA 2000
Pente	< 12 %	< 12 %	SRTM 2000

- Le potentiel de terres appropriables

Les terres faisant l'objet de restrictions ou d'interdictions légales d'accès sont retranchées du potentiel favorable. Il s'agit des aires nationales protégées (RUNAP 2012), des réserves des communautés amérindiennes, des propriétés des communautés d'afro-descendants et des dernières propositions de création de nouvelles aires protégées réalisées par les parcs nationaux.

²⁰ Soil and terrain database for Latin America and the Caribbean

Ensuite, d'après les hypothèses de production, les forêts naturelles et les zones déjà cultivées sont soustraites. Les données de la couverture du sol (IGAC 2008) sont utilisées à cet effet. Les forêts sont définies par les espaces de forêts naturelles et de végétations secondaires, conformément à l'objectif 7²¹ du document présentant les objectifs de développement du millénaire, réalisé par le CEPAL²², (CEPAL 2005) et en accord avec la nomenclature nationale de la couverture du sol et des écosystèmes (IDEAM). Les zones déjà cultivées correspondent aux espaces définis comme les zones de cultures annuelles, de cultures permanentes ou semi-permanentes ainsi que les zones agricoles hétérogènes. Les zones urbaines sont également exclues.

Enfin, les règles de durabilité sont appliquées et se traduisent par des restrictions environnementales. La législation actuelle en Colombie impose une distance de protection 30 m minimum aux cours d'eau et de 100 m pour les sources d'eau (décret 1449 de 1977)(Ministerio de agricultura 1977). Cependant, plusieurs études proposent d'élargir cette distance à 100m, comme le GEF qui travaille sur l'intégration de la biodiversité dans les plans de gestion des plantations de palmier. Les autorités régionales (Corporaciones Autónomas Regionales) peuvent réguler ces distances de 30 à 200 m. Afin de prendre en compte ces considérations et de les harmoniser avec les hypothèses formulées dans l'étude de cas sur le Congo, la distance de protection des cours est fixée à 50 m pour les petits cours d'eau et 100 m pour les grand cours d'eau. Les mangroves, zones humides et lagunaires sont également exclues du potentiel.

Tableau 16 : données utilisées pour le calcul du potentiel de terres appropriables

Type d'information	Sources
Parcs naturels, aires protégées, réserves forestières	Parcs naturels nationaux, RUNAP 2012
Réserves des communautés amérindiennes	IGAC 2010
Titres de propriétés collectives des communautés afro-américaines	IGAC 2012
Proposition de nouvelles aires de conservation	Parcs naturels nationaux 2013
Couverture du sol	IGAC 2008
Protection des zones ripariennes (100 mètres pour les fleuves, 50 m pour rivières)	DivaGIS 2010 et IDEAM 2010

- Le potentiel disponible

Du potentiel précédent sont soustraites les zones qui font l'objet d'un usage réservé. Etant donné que l'élevage est une activité importante en Colombie, les espaces dédiés aux activités d'élevage sont maintenues sous réserve que la densité soit supérieure à 2 bovins/ha, en accord avec les objectifs fixés par la Fedegán (Fédération des éleveurs) en 2005²³. Les données disponibles sur l'élevage sont fournies à l'échelle du municipio (Ministère de l'agriculture 2006). Les espaces théoriques de pâturage sont donc calculés dans chaque municipio en retranchant de l'espace national les forêts naturelles (y compris les zones de végétation secondaire), les zones cultivées, les cours d'eau, mangroves et zones lagunaires, ainsi que les zones urbaines. Lorsque la densité de bovins est supérieure à 2 bovins/ha dans le municipio, le potentiel disponible est nul. En cas contraire, les superficies libérées par une intensification à 2 bovins/ha dans le potentiel de terres appropriables sont calculées et retranchées au potentiel appropriable du municipio.

²¹ Objectif 7 : « garantir la durabilité de l'environnement »

²² Comisión Económica para América Latina, commission régionale des Nations Unies.

²³ Plan del Modernización de la Ganadería (2005)

Tableau 17 : données utilisées pour le calcul du potentiel disponible

Type d'information	Sources
Nombre de bovins par municipios	Ministère de l'agriculture 2006

- Le potentiel technique

Il correspond à la part de potentiel disponible qui peut être techniquement mis en valeur par les acteurs identifiés et selon un modèle socio-technique de production.

Pour chaque scénario, une première analyse consiste à sélectionner dans le potentiel disponible, les zones qui présentent une concentration minimale d'espace disponible pour les plantations. A cet effet, l'espace disponible est découpé en mailles de 80 m x 80 m. A chaque maille disponible est affectée la valeur 1. La fonction Focal Sum du logiciel ArcGis est utilisée en fixant une fenêtre de voisinage permettant d'accueillir les plantations dont la taille est fixée dans les modèles socio-techniques (10 ou 50 ha), augmentée de 60%, ce qui permet d'intégrer d'autres activités agricoles dans les exploitations familiales. Ensuite, une deuxième analyse focale est réalisée sur le potentiel disponible afin d'identifier les zones pouvant accueillir les modèles de plantations industrielles, augmentées de 15% afin d'inclure des zones de conservation et les infrastructures. A la suite des deux analyses focales, la fonction Expand est utilisée, afin d'identifier de façon théorique les espaces qui présentent la concentration souhaitée de terres disponibles. Un filtre est ensuite réalisé sur les espaces obtenus afin d'éviter que les zones de protection qualifiées de « dures » (forêts et zones protégées) ne soient empiétées suite à l'application de la fonction Expand. Ensuite, les zones de plantations familiales localisées à une distance maximale de 60 km des plantations industrielles sont sélectionnées, à l'aide de la fonction Expand circulaire. Enfin, sur les superficies obtenues, sont retranchées les 30 % et 15% de surfaces supplémentaires octroyées en début d'analyse respectivement pour les plantations familiales ou industrielles.

- Le potentiel de valorisation

Le potentiel de valorisation tient compte des espaces réellement exploitables dans le potentiel technique, selon les barrières économiques, culturelles ou sociales.

Tout d'abord, afin de garantir une valorisation économique, la distance aux voies de communication a été intégrée à l'analyse. Une distance maximale de 15 km est calculée entre les plantations et les routes goudronnées ou non goudronnées à double sens de circulation, classées de type 1 et 2 selon l'IDEAM (2009). Une distance de 10 km est calculée pour les routes non goudronnées et étroites (types 3 et 4), et 5 km pour les routes non goudronnées et non accessibles en saison des pluies (type 5).

Ensuite, un facteur d'insécurité est intégré à l'analyse. Les municipios classés comme fortement affectés par le conflit armé, de façon permanente ou interrompue entre 2002 et 2012 (CERAC 2012) sont exclues du potentiel.

Tableau 18 : données utilisées pour le calcul du potentiel de valorisation

Type d'information	Sources
Voies de communication	IDEAM 2009
Degrés et types d'insécurité par municipios	CERAC 2012

7. Evaluation des scénarios

7.1. Scénario 1 : biodiesel

Le potentiel théorique du scénario de production de biodiesel à partir de palmiers à huile est de 56,1 Mha, soit 49% de la superficie nationale (Figure 6). Les régions bioclimatiques des Plaines orientales et de l'Amazonie sont favorables et présentent le plus grand potentiel en termes de superficie. Dans une moindre mesure, le nord de la région Pacifique est également favorable à cette production.

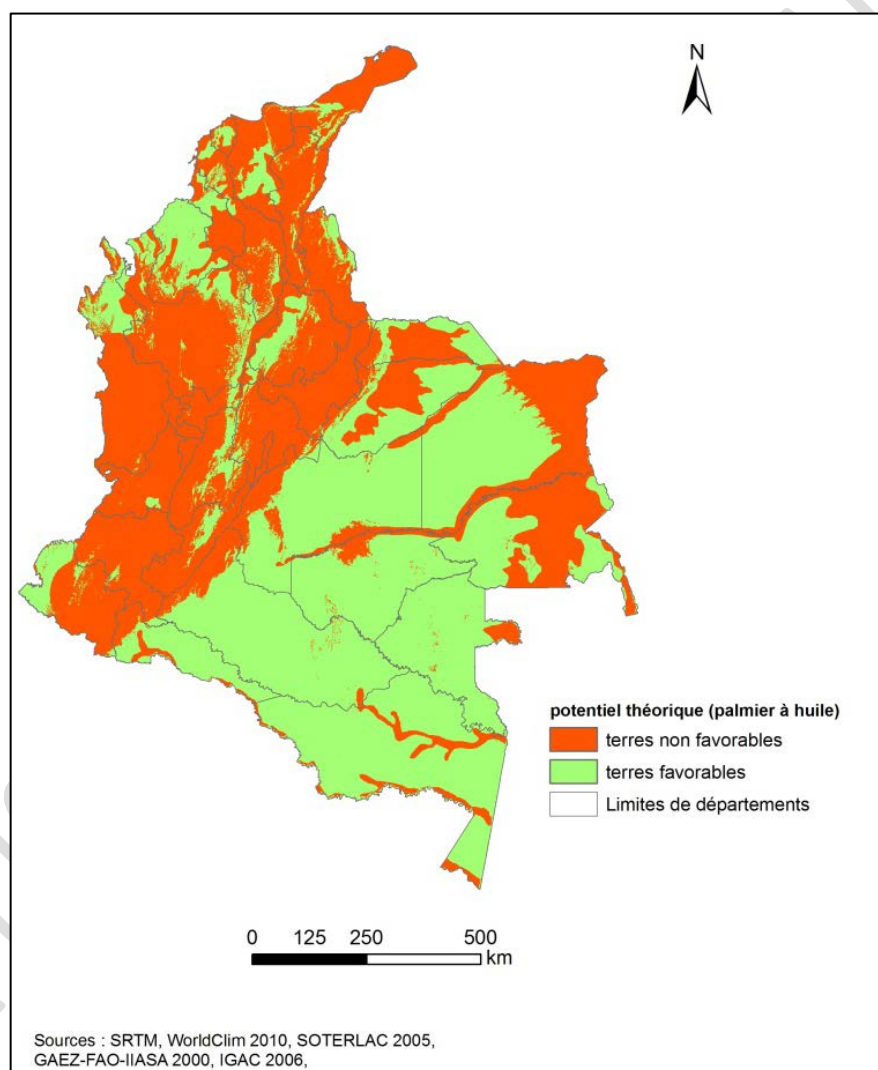


Figure 5 : potentiel théorique du scénario de production de biocarburants à partir de palmier à huile

Le potentiel de terres appropriable est de 12,7 Mha, ce qui divise le potentiel théorique par 4,5 (Figure 7). L'ensemble de la zone bioclimatique de l'Amazonie est exclue du potentiel puisqu'elle est principalement couverte par la forêt naturelle. Les zones protégées (parcs naturels, terres de communautés amérindiennes et afro-américaines, nouvelles zones de conservation proposées par les parcs naturels nationaux) représentent 52,7 Mha sur l'ensemble du pays et sont situées en partie dans les Plaines Orientales et dans la région Pacifique.

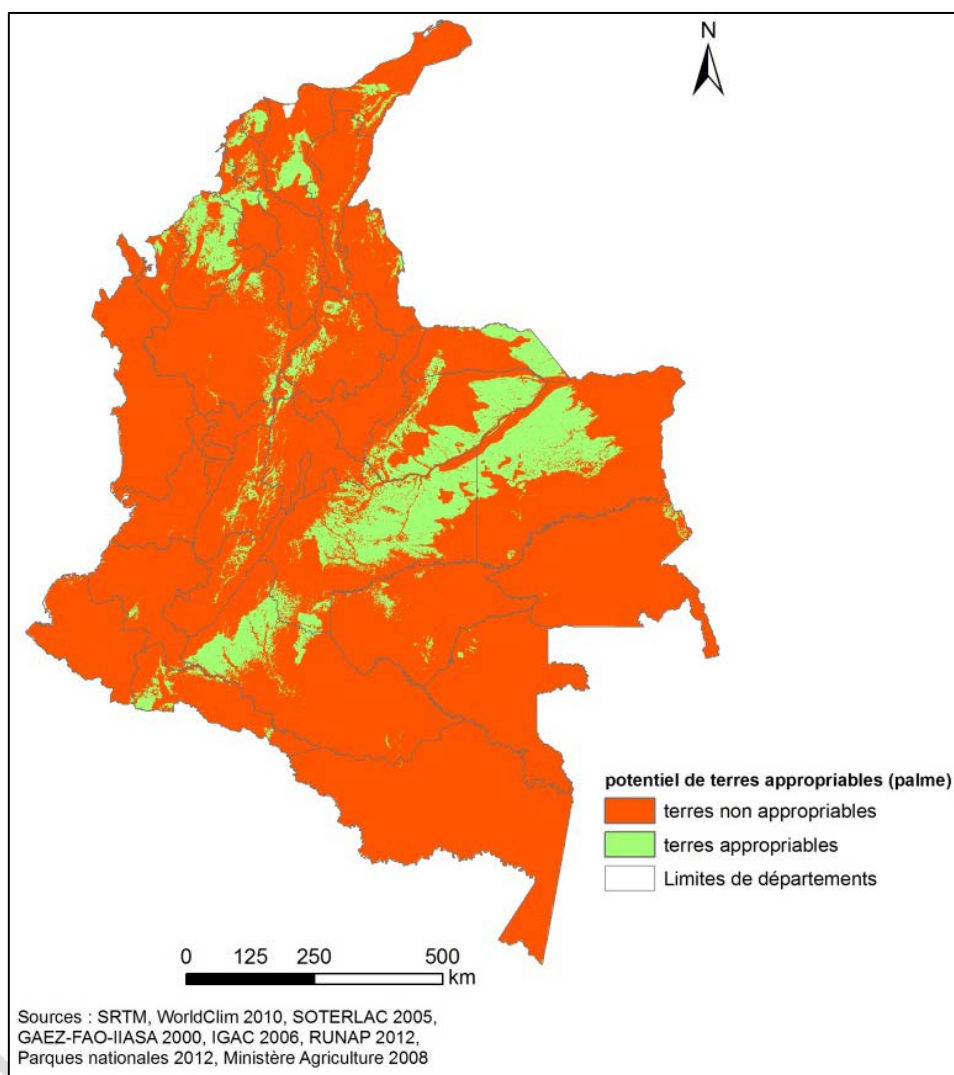


Figure 6 : potentiel appropriable pour le scénario de production de biodiesel à partir de palmier à huile

Le potentiel disponible tient compte des zones non réservées à d'autres usages, et dans le cas de cette étude, des zones réservées au pâturage des bovins. Le potentiel disponible est de 9,1 Mha, soit une réduction de 28% par rapport au potentiel précédent. Etant donné que ces zones ne peuvent pas être localisées de façon précise, le potentiel des terres appropriables est alors calculé à l'échelle du municipio pour lequel les données d'élevage sont disponibles. C'est pour cette raison que la carte ci-dessous (Figure 8) représente une densité de points correspondant à la part de potentiel de terres appropriables occupée par les activités d'élevage (un point représente 1 % déjà occupé pour les activités d'élevage).

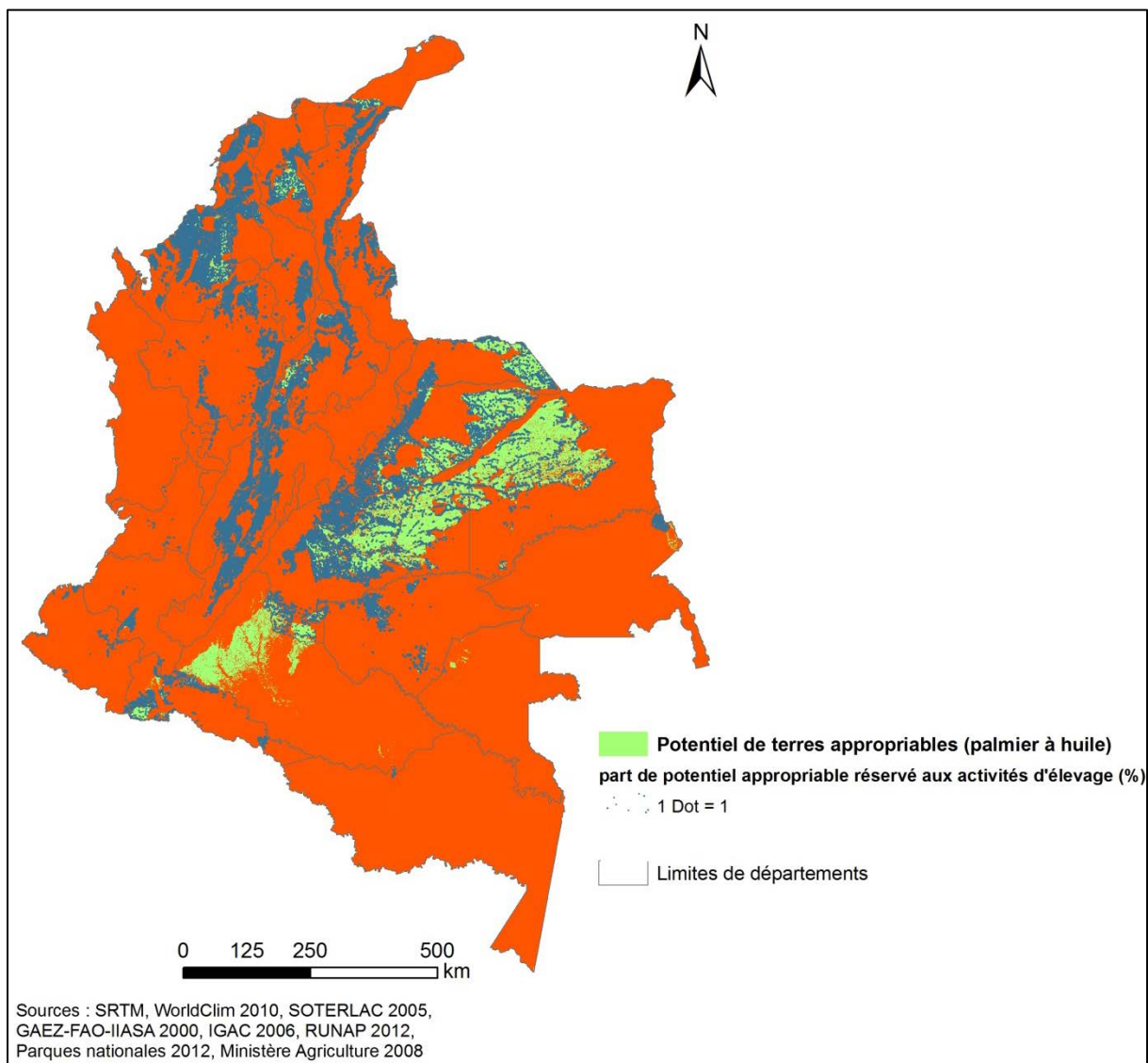


Figure 7 : potentiel disponible pour le scénario de production de biodiesel à partir de palmier à huile

Le potentiel technique tient compte des contraintes techniques et logiques pour la mise en place des scénarios de production. Pour le scénario 1 qui concerne un approvisionnement mixte entre plantations agro-industrielles intégrées et alliances de producteurs possédant 10ha de plantation, le potentiel technique est de 5,5 Mha (Figure 8). L'espace potentiel pour l'implantation de l'unité industrielle de 9 000 ha est de 5 Mha. Le potentiel technique de l'unité industrielle est proche de celui des plantations de producteurs. Etant donné que le modèle technique de l'unité industrielle nécessite une superficie compacte de 9 200 ha, cela signifie que les espaces du potentiel technique sont assez peu morcelés.

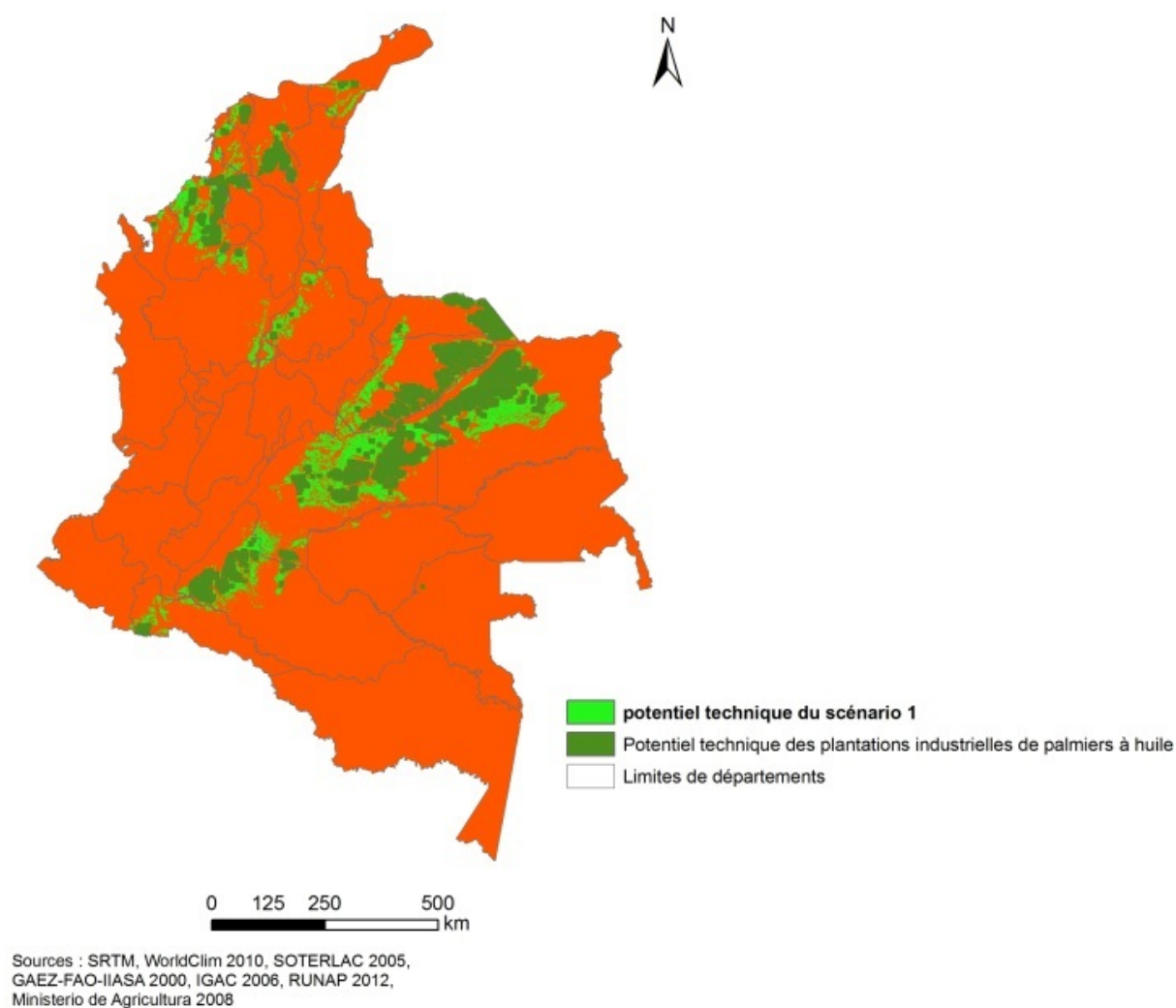


Figure 8 : potentiel technique du scénario 1

Le potentiel de valorisation est de 3,4 Mha (Figure 11). Il tient compte des distances aux axes principaux de circulation et exclut les zones de conflits. Le potentiel de valorisation représente donc 60% du potentiel technique.

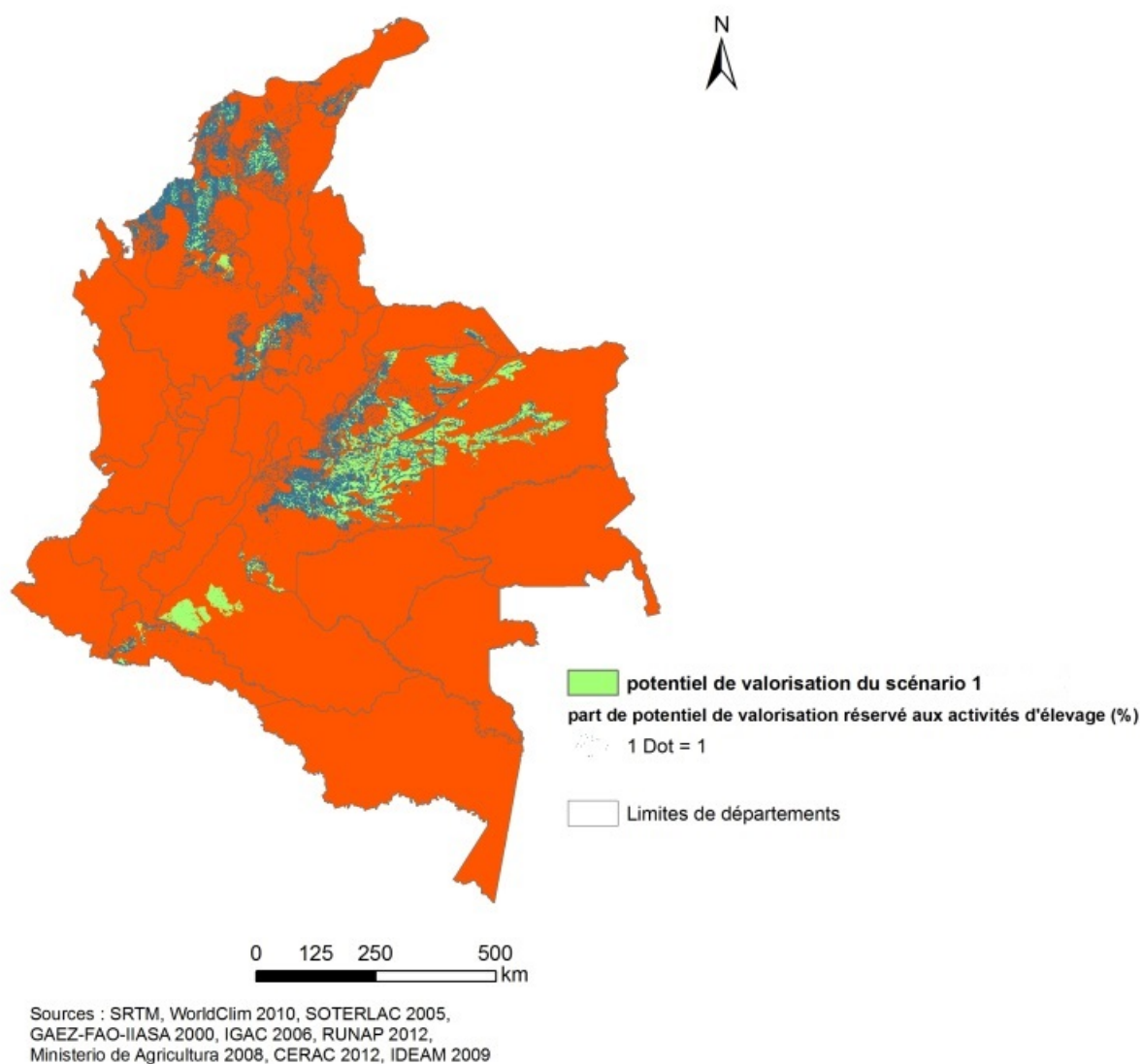


Figure 9 : Potentiels de valorisation pour le scénario 1

7.2. Scénario 2 : bioéthanol

Le potentiel théorique du scénario de production de bioéthanol à partir de canne à sucre s'élève à 57,1Mha, soit 50% de la superficie nationale. La production de canne à sucre est donc réalisable sur des superficies presque aussi grandes que le palmier à huile.

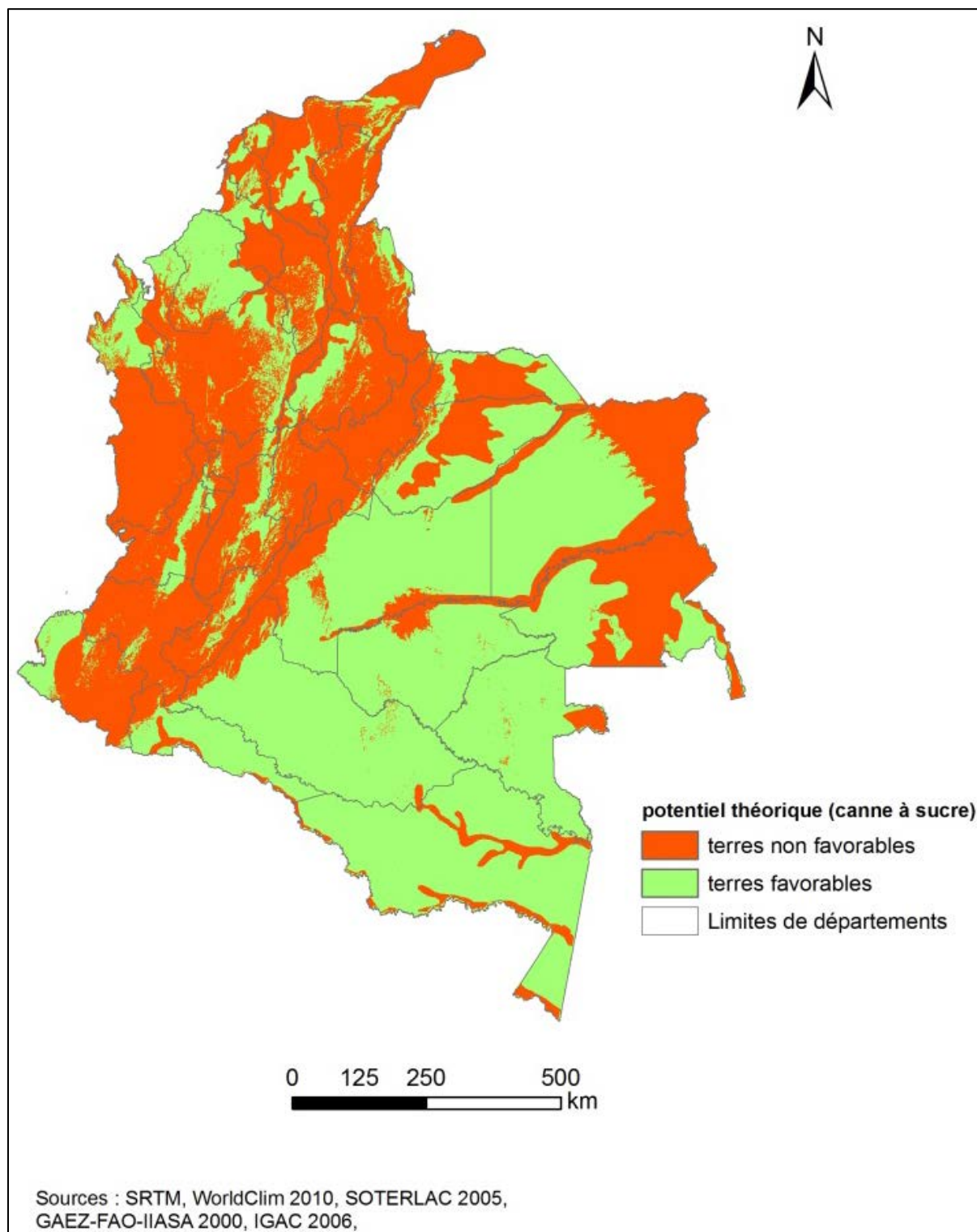


Figure 10 : potentiel théorique du scénario 2 : production durable de canne à sucre

Le potentiel de terres appropriables est de 13,2 Mha, soit une réduction de 70% du potentiel théorique. Comme pour le scénario concernant l'huile de palme, la région Amazonie et une grande partie des Plaines orientales sont exclues du potentiel de terres appropriables.

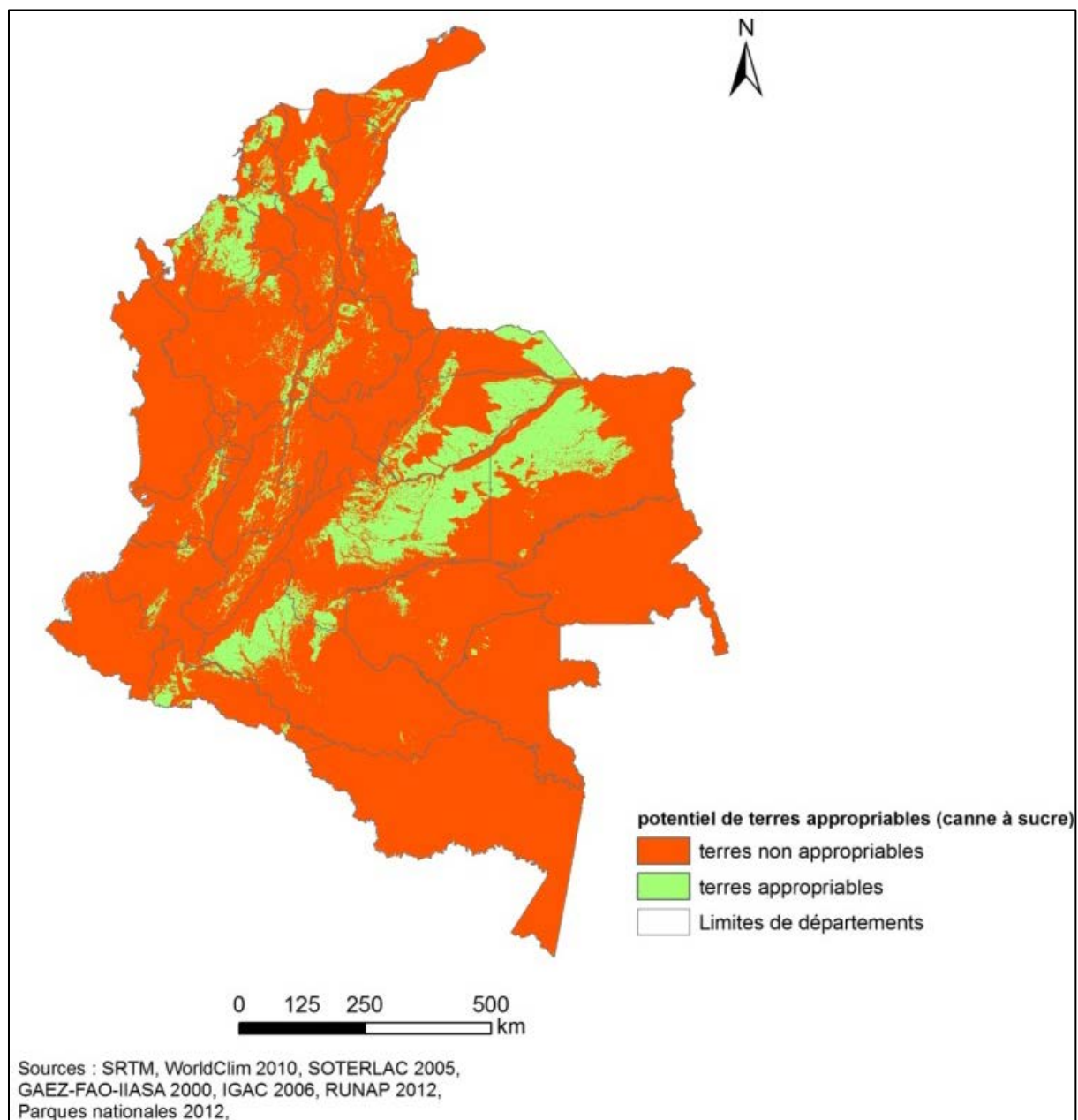


Figure 11 : potentiel appropriable du scénario 2

Le potentiel disponible est de 9,3 Mha, soit une réduction de 30% par rapport au potentiel de terres appropriables. Comme pour le scénario concernant l'huile de palme, les terres réservées aux activités d'élevage sont représentées par une densité de points représentant la part de potentiel appropriable réservée aux activités d'élevage.

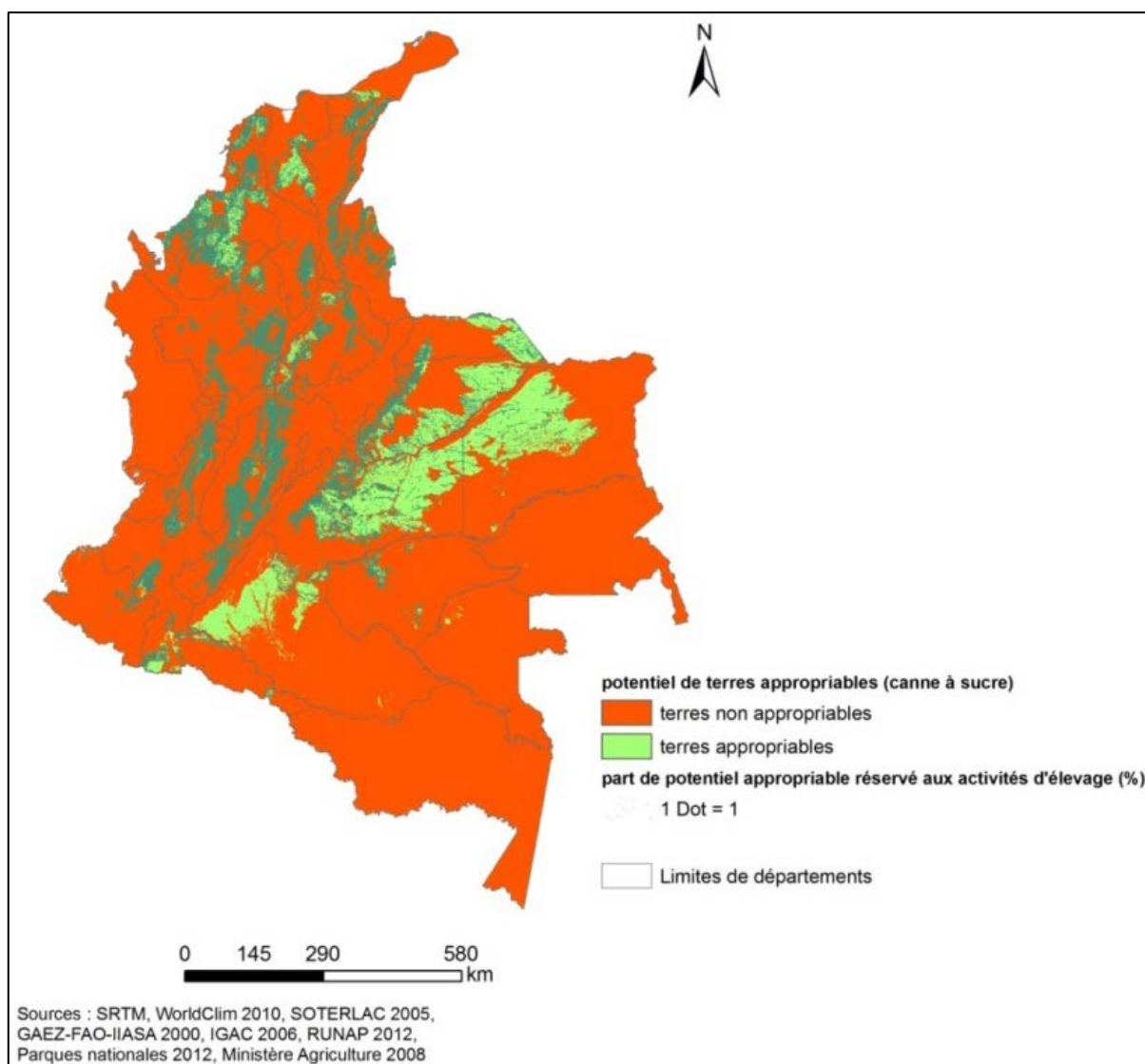


Figure 12 : potentiel disponible du scénario 2

Le potentiel technique du scénario de production de canne à partir de producteurs indépendants possédant 50 ha minimum de plantations de canne à sucre s'élève à 5,4 Mha. Le potentiel technique représente une réduction de 42 % par rapport au potentiel disponible. Le potentiel technique pour le complexe industriel réunissant les plantations, les infrastructures et les zones de conservation, correspond à une superficie de 5 Mha. En suivant le même raisonnement que pour le scénario concernant le palmier à huile, ces résultats montrent que les espaces du potentiel technique sont peu morcelés, permettant l'implantation des unités industrielles de 7 700ha.

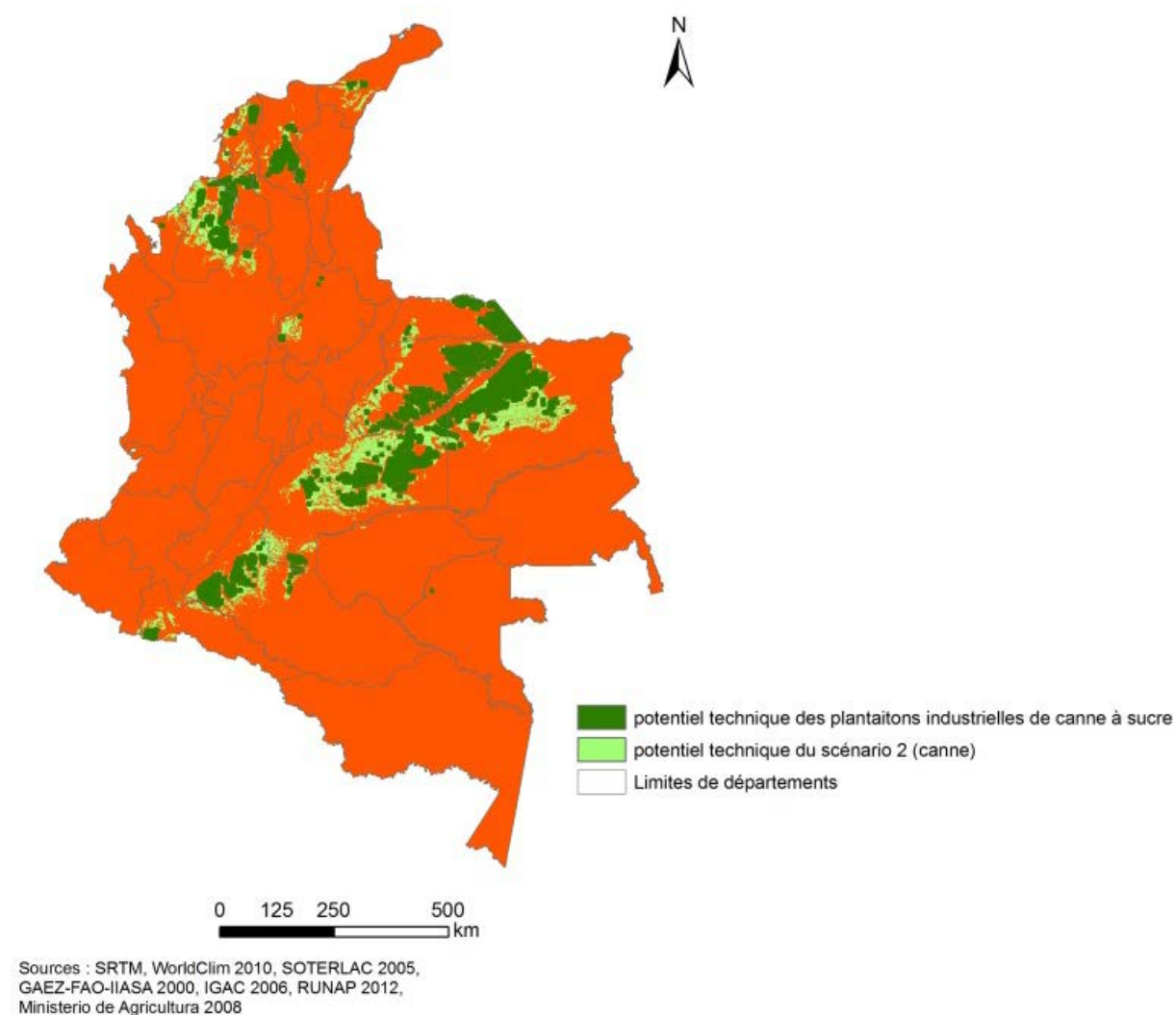


Figure 13 : Potentiel technique du scénario 2

Le potentiel de valorisation est de 3,3 Mha (Figure 16), soit une réduction de 39% par rapport au potentiel technique.

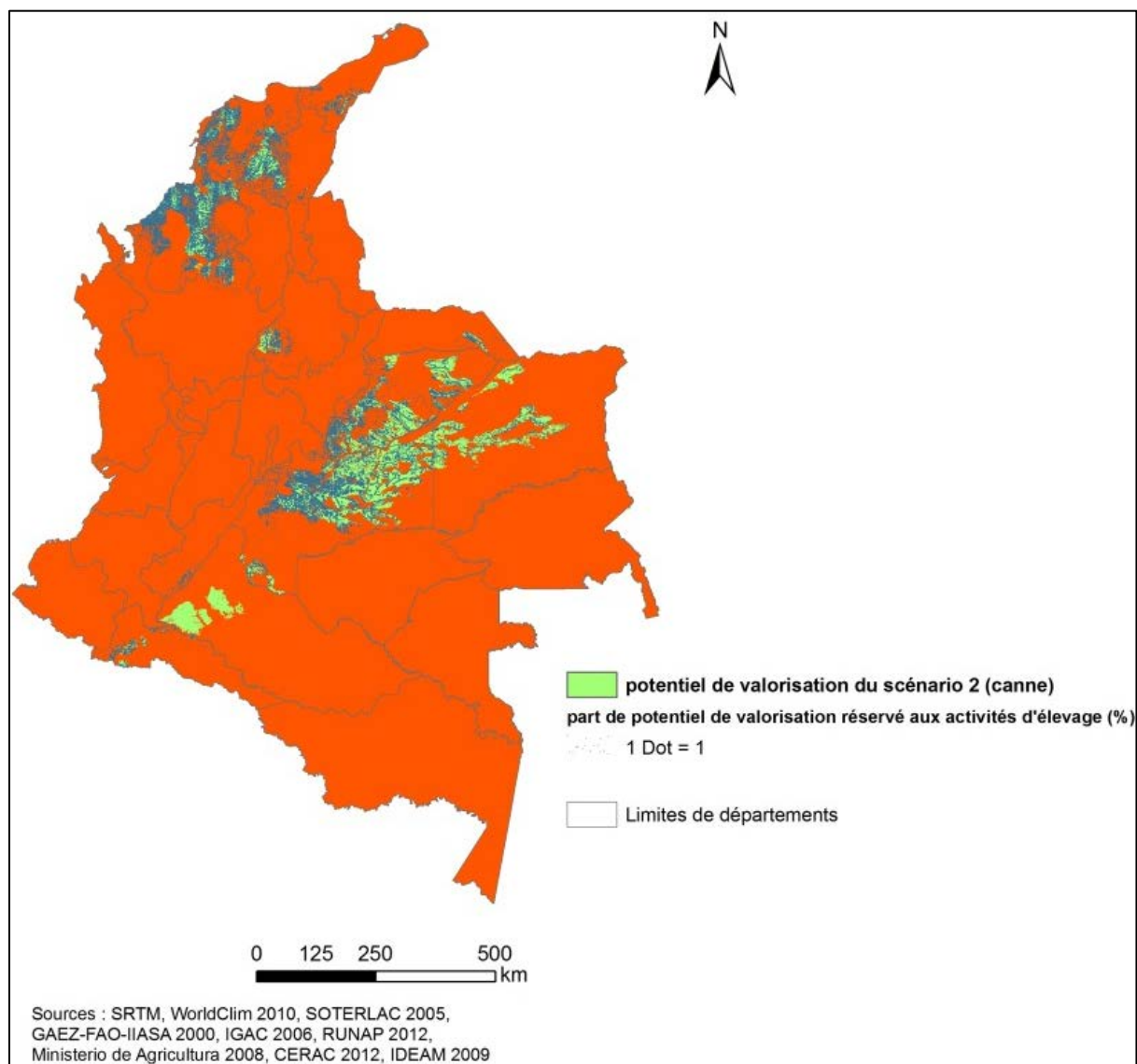


Figure 14 : potentiel de valorisation de production de bioéthanol à partir de canne à sucre

8. Discussion des résultats

Les résultats obtenus montrent que le potentiel technique de production durable de biocarburants en Colombie à partir de canne à sucre ou à partir de palmiers à huile sont très similaires et s'élèvent respectivement à 5.5 Mha et 5.4 Mha. Ces résultats sont cohérents avec les objectifs du Ministère de l'agriculture de créer 3 Mha de plantations de palmiers à huile supplémentaires afin d'atteindre les objectifs d'incorporation de 20% (Consulting Biofuels 2007, in Castiblanco, Etter, and Aide 2013).

Tableau 19: résultats des différents potentiels de production de biocarburants.

	Scénario 1 palmier à huile, alliances	Scénario 2 canne à sucre, nouveaux espaces, nouveaux acteurs
Surface totale	114,1 Mha	114,1 Mha
Potentiel théorique	56,1 Mha	57,1 Mha
Potentiel appropriable	12,7 Mha	13,2 Mha
Potentiel disponible	9,1 Mha	9,3 Mha
Potentiel technique	5,5 Mha dont 5,0 Mha en plantations industrielles	5,4 Mha dont 5,0 Mha en plantations industrielles
Potentiel de valorisation	3,4 Mha	3,3 Mha

Les conditions bioclimatiques retenues dans cette étude pour l'huile de palme – et notamment une pluviométrie comprise entre 1000mm et 4500 mm - correspondent dans la littérature à des conditions moyennes à bonne. La FEDEPALMA considère en effet que les meilleures conditions se situent au dessus de 2200 mm. A fourchette pluviométrique équivalente et à restrictions environnementales également équivalentes (normes RSPO) nos potentiels techniques se situent bien en dessous des potentiels estimés par la FEDEPALMA qui s'élèvent à 8.6 Mha (FEDEPALMA 2013). Cette différence s'explique en grande partie par le fait que la FEDEPALMA n'a pas inclus les restrictions dus à l'élevage et n'a pas introduit de limites techniques dans l'organisation spatiale des exploitations.

De la même manière une évaluation du potentiel a été réalisée par le Ministère de l'Energie et des Mines en 2011 (EMPA 2011). A fourchettes bioclimatiques et à restrictions environnementales équivalentes aux nôtres (normes RSPO), elle conclue à un potentiel de valorisation (incluant les difficultés d'accès à la ressource) respectivement de 3.0 Mha pour le palmier à huile et de 4.2 Mha pour la canne à sucre. Ces potentiels sont très proches des potentiels trouvés dans notre étude. Pourtant l'étude de l'EMPA n'intègre pas de restrictions dues à l'élevage. L'hypothèse avancée est que les activités d'élevage peuvent être déplacées sans contrainte pour laisser place aux plantations de palmiers ou de canne à sucre. Cette hypothèse conduit donc à surestimer le potentiel de

production de biocarburants par rapport à l'étude ci-présente. En revanche elle introduit des restrictions en termes de biodiversité supérieures aux nôtres notamment dans les plaines orientales.

A USAGE INTERNE CIRAD

9. Conclusions

Les comparaisons avec les évaluations existantes montrent combien il est difficile de comparer différentes évaluations sans en expliciter clairement les hypothèses. Néanmoins nos résultats ne sont pas fondamentalement contradictoires et montrent un potentiel important en Colombie que ce soit pour le palmier à huile ou pour la canne à sucre.

L'expansion de la filière canne à sucre est techniquement possible. Les barrières à son développement sont essentiellement économiques et institutionnelles. Le cluster économique et géographique que forme la filière sucrière n'incite pas ses acteurs à explorer d'autres alternatives. Toutefois les expérimentations menées actuellement par Riopaila et EcoPetrol dans les Plaines Orientales intéressent fortement les autres acteurs de la filière biocarburants en attente de nouvelles références techniques.

L'expansion du palmier à huile est en cours. Cette analyse montre qu'au prix d'une intensification de l'élevage, principalement par une meilleure gestion des troupeaux, le potentiel de développement sans toucher à la forêt est considérable (> 3 Mha). Par ailleurs, le modèle économique des alliances permet d'y associer les communautés locales et semble porteur d'une plus grande durabilité sociale que les modèles agro-industriels « purs ».

A USAGE INTERNE

10. Bibliographie

- Arango, S, and A. M. Yoshioka. 2011. *Análisis Del Ambiente Competitivo Del Cluster Bioindustrial Del Azúcar En El Valle Geográfico Del Río Cauca*. Cali, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, Cali.
- Asocaña. 2012. *Informe Anual 2011-2012*. Cali, Colombia: Asocaña.
- . 2014. *Aspectos Generales Del Sector Azucarero 2013-2014*. Cali, Colombia.
- Balcazar, A., Nelson Lopez, Martha Lucia Orozco, and Vega Margarita. 2001. *Colombia: Alcances Y Lecciones de Su Experiencia En Reforma Agraria*. Red de Desarrollo Agropecuario. Serie Desarrollo Productivo, N° 109. Santiago de Chile: CEPAL.
- Balcazar, A., and C. Rodriguez. 2013. "Tierra Para Uso Agropecuaria." In *Políticas Para El Desarrollo de La Agricultura En Colombia*, by J.J. Perfetti, A. Balcazar, and A. Hernandez, 65–116. Bogotá.
- Banque mondiale. 2014a. "DataBank." <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>.
- . 2014b. *Crecimiento Del PIB*. Banque mondiale. <http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>.
- Bonsucro. 2011. *Estándar de Producción de Bonsucro*.
- Castellanos Domínguez, Oscar, Luz Marina Torres Piñeros, and Diego Hernando Flórez. 2010. *Agenda Prospectiva de Investigación Y Desarrollo Tecnológico Para La Cadena Productiva de La Panela Y Su Agroindustria En Colombia*. Bogotá D.C.: Ministerio de agricultura y desarrollo rural, BioGestión, Universidad nacional de Colombia.
- Castiblanco, Carmenza, Andrés Etter, and T. Mitchell Aide. 2013. "Oil Palm Plantations in Colombia: A Model of Future Expansion." *Environmental Science & Policy* 27 (March): 172–83. doi:10.1016/j.envsci.2013.01.003.
- CIAT. 2009. "Inauguran Bio-Refinería Social Para Comunidades Pobres."
- . 2013. "En Colombia Está La Clave Para Evitar Que La 'Escoba de Bruja' Barra a Los Yuqueros Del Sureste Asiático." <http://www.ciatnews.cgiar.org/es/2013/11/18/en-colombia-esta-la-clave-para-evitar-que-la-escoba-de-bruja-barra-a-los-yuqueros-del-sureste-asiatico/>.
- Cordoba, Juan Tulio. 2002. *Plan de Desarrollo 2002-2012; Líderes En El Conocimiento de La Biodiversidad Ecosistémica Y Cultural*. Quibdó: Universidad Tecnológica del Chocó. http://www.utch.edu.co/portal/docs/plan_de_desarrollo/plan_de_desarrollo.pdf.
- Corpes Orinoquía. 1996. *La Orinoquía Colombiana, Visión Monográfica*. Corpes Orinoquía. Bogotá.
- Corpodib. 2005. *Plan Agrícola Para La Implementación Del Programa de Biodiesel*. Bogotá D.C.: CORPORACION PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL DE LA BIOTECNOLOGIA Y PRODUCCION LIMPIA.
- CORPOICA. 2010. "CORPOICA Selecciona Los Mejores Sorgos Dulces Para Biocombustibles." http://www.corpoica.org.co/sitioweb/noticias/vernoticia.asp?id_noticia=1050.
- Corrales Roa, Elcy, and Jaime Forero Alvarez. 1999. "La Agricultura Familiar En Colombia." In , 27–30. Memoria Del Taller, Programme Agricultures Familiales. San José, Costa Rica: CIRAD TERA.
- Departamento Nacional de Planeación. 2000. *Manual Metodológico Para La Determinación de La Unidad Agrícola Familiar Promedio Municipal*. Bogotá.
- El Economista. 2014. "Producción de Aceite de Palma En Colombia Se Incrementó 7% Durante 2013." *El Economista*.
- El Informador. 2013. "Fedepalma Ratifica El Poder Transformador de La Palma de Aceite Para Colombia." *El Informador*, April 7.
- El País. 2010. "Economía Colombiana Creció Con Seguridad Durante Gobierno de Uribe." *El País*, July 20.
- . 2013. "Continúa Sin Solución La Crisis Del Sector Panelero Colombiano." *El País*, October 14.

- EMPA. 2011. *Evaluación Del Ciclo de Vida de La Cadena de Producción de Biocombustibles En Colombia*. Medellín: Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Minas y energía.
- Etter, Andrés, Clive McAlpine, Kerrie Wilson, Stuart Phinn, and Hugh Possingham. 2006. "Regional Patterns of Agricultural Land Use and Deforestation in Colombia." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114 (2–4): 369–86. doi:10.1016/j.agee.2005.11.013.
- FAO. 2013. *La Bioenergía En América Latina Y El Caribe. El Estado de Arte En Países Seleccionados*. Santiago de Chile: FAO.
- FAO, and IIASA. 2000. "Global Agro-Ecological Zones (Global - AEZ)." <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZ/index.htm>.
- FAOSTAT. 2014. "Trade / Crops and Livestock Products." <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/T/TP/E>.
- Fedebiocombustibles. 2014. "Fedebiocombustibles, Información General." http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-4-titulo-proceso_de_los_biocombustibles.htm.
- Fedepalma. 2013. *Anuarios Estadísticos*. Bogotá: Fedepalma.
- Fedepalma. 2013. Análisis de escenarios para el desarrollo de biodiésel sostenible en Colombia PALMAS Vol. 34 No. Especial, Tomo II
- Fenalce. 2010. *El Cultivo Del Sorgo. Historia E Importancia*.
- FIDA. 2014. "Rural Poverty in Colombia." (FIDA) <http://www.ruralpovertyportal.org/country/home/tags/colombia>.
- Gallego Castillo, Sonia. 2009. "Experiencias En La Producción de Bioetanol a Partir de La Yuca." In . Universidad del Quindío.
- García Romero, Helena. 2013. "Deforestación En Colombia: Retos Y Perspectivas." In *El Desafío Del Desarrollo Sustentable En América Latina*, 123–42. Rio de Janeiro: Konrad Adenauer Stiftung.
- IICA. 2010. *Atlas de La Agroenergía Y Los Biocombustibles En Las Américas*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura.
- INCORA. 1996. *RESOLUCIÓN No. 041 DE 1996 Determinación de Extensiones Para Las UAFs*.
- Infolatam. 2010. "Colombia: Álvaro Uribe, El Hombre Que Cambió La Historia." *Infolatam*, March 8.
- Instituto von Humboldt. 2014. *Innovaciones Institucionales Para La Biodiversidad Del Siglo XXI*. Bogotá D.C. Colombia.
- Kalmanovitz, Salmon, and Enrique López. 2006. *La Agricultura Colombiana En El Siglo XX*. Bogotá: Banco de la República.
- Martínez, G. 2013. *Agroindustria de La Palma de Aceite*. Bogotá: Fedepalma.
- Mejía, J. C. 2012. "Política Nacional de Biocombustibles En Colombia." In *VI Seminario Latinoamericano Y Del Caribe de Biocombustibles*. Cuernavaca, México.
- Minagricultura. 2010. *Anuario Estadístico Del Sector Agropecuario Y Pesquero 2010*. Bogotá D.C.: Minagricultura.
- Mincomer. 2012. "Colombia Un País de Prosperidad Y Democracia."
- Ministerio de agricultura. 1977. "Decreto 1449 de 1977."
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. 2014. *Informe de Gestión*. Bogotá D.C.
- Minminas. 2006. *El Sector de Minas Y Energía En Los 90*. Bogotá D.C. Colombia.
- . 2010. *Programa de Uso Racional Y Eficiente de Energía Y Demás Formas de Energía No Convencionales- PROURE, Plan de Acción Indicativo 2010 - 2015*. Bogotá: UPME.
- . 2011. *Atlas Del Potencial Energetico de La Biomasa Residual En Colombia*. Bogotá: UMPE, IDEAM.
- Name, José David. 2014. "Sancionan Ley Que Incentiva Uso de Energías Renovables." <http://www.josedavidname.com/article/sancionan-ley-que-incentiva-uso-de-energias-renovables/1095/>.
- Noël, Jean-Marc. 2007. "Résidus D'huilerie de Palme ; Déchets Par Le Passé... Ressource Aujourd'hui ?" <http://www.cirad.fr/publications-ressources/science-pour-tous/dossiers/palmier-a-huile/que-fait-le-cirad/preserver-l-environnement>.

- Orjuela, J.A., I. Huertas, J.C. Figueroa, D. Kalenatic, and Kadena K. 2011. "Potencial de Producción de Bioetanol a Partir de Caña Panelera: Dinámica Entre Contaminación, Seguridad Alimentaria Y Uso Del Suelo." *Ingeniería* 16 (1): 6–26.
- Osorio Cadavid, Guillermo. 2007. *Buenas Practicas Agricolas Y Buenas Practicas de Manufactura En La Produccion de Caña Panela*. CORPOICA, FAO, Gobernacion de Antioquia.
- Perfetti, J.J., A. Balcazar, and A. Hernandez. 2013. *Políticas Para El Desarrollo de La Agricultura En Colombia*. SAC y Fedesarrollo. Bogotá.
- Portafolio. 2013. "Los Paneleros Están Al Borde de La Quiebra," November 13.
- Procaña. 2013. *Sector Azucarero*. Cali, Colombia: Procaña.
- Razo, C., C. Ludeña, A. Saucedo, S. Astete-Miller, J. Hepp, and A. Vildósola. 2007. *Producción de Biomasa Para Biocombustibles Líquidos: El Potencial de América Latina Y El Caribe*. Serie Desarrollo Productivo, N° 181. Santiago de Chile: CEPAL.
- Rivera, J.E. 2014. "Pasado, Presente Y Futuro de La Agricultura En Colombia." *El Frente*.
- RSPO. 2014. *RSPO, Principios Y Criterios. Documento Borrador de La Interpretación Nacional (IN) Para Colombia Del Estándar RSPO 2013 Para Consulta Pública*. Bogota D.C.
- Rueda, Alejandra. 2012. *Cogeneracion En Colombia*. Bogotá D.C. Colombia: FAO, oficina regional para America latina y el Caribe _ RLC.
- . 2013. "Estado Del Arte Y Novedades de La Bioenergia En Colombia." In *La Bioenergia En América Latina Y El Caribe El Estado de Arte En Países Seleccionados*, FAO, Oficina regional para América latina y el Caribe - RLC, 151–78. Santiago de Chile.
- Semana. 2012. "Asi Es La Colombia Rural." *Semana, Informe Especial*.
- . 2013. "El Chicharrón de Los Baldíos." *Semana*, June 15. <http://www.semana.com/nacion/articulo/el-chicharron-baldios/346489-3>.
- SIAT-AC. 2014. "Sistema de Información Ambiental Territorial de La Amazonia Colombiana." <http://siatac.co/web/guest/geologia>.
- SIC. 2013. *Cadena Productiva de La Panela En Colombia: Diagnostico de Libre Competencia*.
- UPME. 2003. *Potencialidades de Los Cultivos Energéticos Y Residuos Agrícolas En Colombia*. Bogotá: Unidad de planeación minero energético.
- Vanguardia. 2010. "Paneleros Van Por La Certificaicón Internacional." *Vanguardia*, October 24.
- XM. 2014. "Descripción Del Sistema Eléctrico Colombiano." <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>.